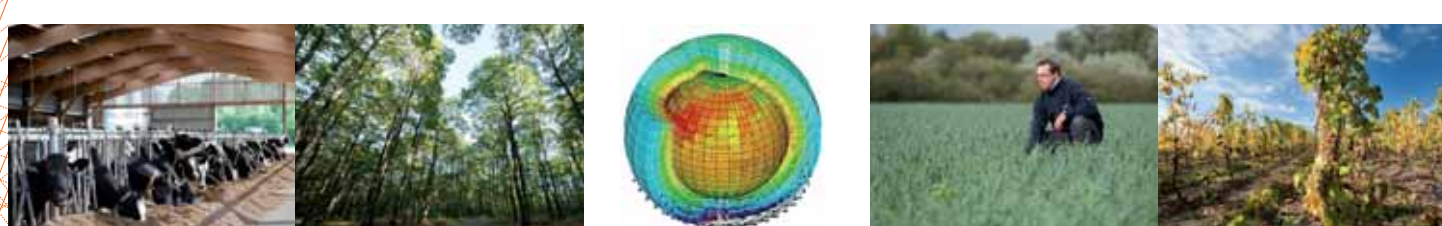




AGRICULTURE, FORÊT, CLIMAT

VERS DES STRATÉGIES D'ADAPTATION



CENTRE D'ÉTUDES ET DE PROSPECTIVE
Secrétariat général – Service de la statistique et de la prospective
Ministère de l'Agriculture,
de l'Agroalimentaire et de la Forêt

2013

Agriculture, Forêt, Climat : vers des stratégies d'adaptation

Equipe-projet

**Julien Vert, Noémie Schaller, Clément Villien,
Fabienne Portet et Thuriane Mahé (CEP), Anne Sophie Sergent (IDF)**

Avec les contributions des membres du groupe AFClm et du CEP

**Le rapport AFClm ne représente pas nécessairement
les positions officielles du Ministère de l'Agriculture,
de l'Agroalimentaire et de la Forêt. Il n'engage que ses auteurs.**

Conception graphique : Documentation Française.

Pour citer ce rapport, utiliser la référence suivante :

Vert J., Schaller N., Villien C. (coord.), *Agriculture Forêt Climat : vers des stratégies d'adaptation*, Centre d'études et de prospective, Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2013.

REMERCIEMENTS

Le Centre d'études et de prospective du ministère de l'Agriculture, de l'Agro-alimentaire et de la Forêt tient à remercier chaleureusement les membres du groupe Agriculture Forêt Climat (AFClim) pour leur participation très active et la qualité de leur contribution tout au long de ce travail :

Sylvie Alexandre, Nathalie Bréda, Emmanuel Cloppet, Jean-François Dhôte, Sylvain Doublet, Éric Duchêne, David Gouache, Bernard Itier, Xavier de Lacaze, André Legall, Élisabeth Le Net, Frédéric Levrault, Maryline Loquet, Chantal Loyce, Nicolas de Menthière, Philippe Mérot, Jean-Christophe Moreau, Denis Ollivier, Laure Pedoussaut, Max Penneroux, Céline Perrier, Olivier Picard, Jean-Luc Peyron, Lætitia Poffet, Antoine Poupard, Bertrand Reysset, Yves Riou, Philippe Riou-Nivert, Ceydric Sédilot-Gasmi, Anne-Sophie Sergent, Philippe Touchais, Audrey Trévisiol, Diane Vandaele, Véronique Van Tilbeurg, Antonin Vergez, Didier Vernhes.

Cet exercice n'aurait tout simplement pas été possible sans les apports essentiels et l'expertise de la Division d'agrométéorologie de Météo-France. Nous tenons donc à remercier très sincèrement Emmanuel Cloppet, Franck Souverain et Matthieu Regimbaud.

La possibilité offerte par l'Assemblée permanente des chambres d'agriculture (APCA), l'Institut de l'élevage et les chambres d'agriculture de mobiliser les données technico-économiques des réseaux d'élevage et du réseau Inosys a également été une contribution majeure à ce travail. Nous remercions donc vivement Cécile Fèvre (APCA), André Le Gall et Jean-Christophe Moreau (IDELE).

Nous tenons également à remercier l'Institut du développement forestier pour son implication et le partenariat que nous avons pu établir sur le volet forêt de cette prospective.

Nous remercions enfin tous les collègues du CEP et tous les partenaires extérieurs qui ont été associés à cette prospective et ont permis sa réalisation.

AVANT-PROPOS



Le changement climatique est un enjeu majeur qui s'impose à tous les acteurs, partout, et en tous domaines. Les secteurs agricoles et sylvicoles sont directement concernés, parce que le climat et ses variations jouent un rôle central dans les productions de ces filières, mais aussi parce qu'ils sont une partie de la solution (puits de carbone, substituts à des matières premières fossiles non renouvelables). La réalité de ce processus est avérée, de même que son origine anthropique fait désormais consensus, et les études se multiplient qui témoignent d'impacts bien réels sur les rendements des cultures et des arbres.

Pour autant, même si les acteurs agricoles et forestiers ont conscience de l'importance du sujet, la perception du phénomène et de ses conséquences reste encore floue. Les incertitudes, réelles, sur l'ampleur, le rythme et les effets du réchauffement, contribuent à faire du changement climatique un objet de fantasmes et de doutes, peu propices à la mobilisation stratégique des acteurs. De plus, la difficulté à distinguer les tendances de fond des simples aléas naturels rend l'action publique délicate à définir et à proportionner.

Pourtant les initiatives existent, qu'il s'agisse d'atténuer le changement climatique en agissant sur les gaz à effet de serre ou de s'y adapter. Le ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt s'est d'ores et déjà engagé en ce sens, à travers le Plan climat, avec un objectif de réduction de 14 % des émissions de gaz à effet de serre entre 2005 et 2020 pour le secteur agricole, et dans le cadre du Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC), qui vise notamment à promouvoir une agriculture efficiente en eau. Des outils de politiques publiques déclinent ces ambitions, comme le Plan de performance énergétique (PPE), qui finance depuis 2009 les investissements nécessaires à l'amélioration de l'efficacité énergétique des exploitations, ou plus récemment le Plan énergie méthanisation autonomie azote (EMAA), qui s'inscrit dans le projet agro-écologique pour la France. Les leviers budgétaires de la prochaine Politique agricole commune (2014-2020), dont le deuxième objectif s'intitule « une gestion durable des ressources naturelles et la lutte contre le changement climatique », seront également orientés pour encourager les changements de pratiques agricoles, les investissements et l'animation nécessaires.

Toutes ces démarches contribuent à favoriser la prise de conscience des différentes catégories d'acteurs et elles ont déjà permis d'obtenir des résultats indéniables. Il faut cependant aller plus loin et penser résolument notre adaptation à une planète qui sera demain plus chaude, où les aléas seront plus nombreux et les sécheresses plus fréquentes. Si les incertitudes relatives au monde qui vient sont nombreuses, elles ne doivent pas brider nos réflexions et nos actions mais au contraire nous inciter à forger collectivement des réponses à la hauteur de ces défis inédits, en favorisant les systèmes de production doublement performants, à la fois aux plans économique et écologique. En outre, incertitude ne signifie pas ignorance : certaines connaissances sont sûres, démontrées, et certaines possibilités sont plus probables ou souhaitables que d'autres.

C'est dans un tel contexte, où la difficulté de prédire rencontre l'obligation d'agir, que les démarches prospectives trouvent tout leur sens. Et c'est pourquoi le Centre d'études et de prospective du ministère a décidé, en octobre 2011, d'engager ce chantier sur l'adaptation de l'agriculture et de la forêt au changement climatique (AFClim). Le présent ouvrage en est l'aboutissement.

Je souhaite que ces travaux contribuent à mobiliser chacun, exploitants agricoles, forestiers, instituts de recherche ou de développement, pouvoirs publics nationaux et territoriaux, autour de la nécessité d'adapter dès aujourd'hui nos réflexions et nos stratégies à cette réalité climatique en marche.

Stéphane Le Foll

SOMMAIRE

Remerciements.....	3
Avant-propos	5
Introduction.....	9
1. Agriculture, forêt et changement climatique	13
1.1. Les principaux enjeux du changement climatique pour l’agriculture et la forêt ...	14
Point sur les connaissances disponibles	14
Enjeux pour l’agriculture et la forêt	20
Pourquoi un exercice de prospective sur l’adaptation ?.....	21
1.2. La perception du changement climatique par les acteurs du monde agricole et forestier	22
Au sein du monde agricole	23
Au sein du monde forestier	28
1.3. La prospective AFCLim : une démarche innovante et collective	31
2. Études de cas prospectives.....	35
2.1. Méthodologie	36
Construction et analyse des études de cas	36
Les simulations agroclimatiques mobilisées	39
Guide de lecture des fiches agricoles	44
Guide de lecture des fiches forêt	47
2.2. Les quatorze études de cas.....	51
Cultures industrielles dans la Somme	53
Polyculture-élevage dans la Meuse	61
Bovin lait dans les Côtes d’Armor	69
Forêt irrégulière de hêtre en Haute-Saône	75
Grandes cultures dans le Cher	83
Chênaie du bassin de la Loire	87
Viticulture dans le Beaujolais	95
Forêt de douglas en Limousin	101
Bovin allaitant dans la Creuse.....	109

Pin maritime dans les Landes	115
Maïs irrigué dans les Landes	125
Arboriculture fruitière dans le Vaucluse	131
Sapinière en moyenne montagne méditerranéenne	137
Ovin viande dans les Hautes-Pyrénées	145
3. Analyse stratégique : ressources et contraintes pour l'adaptation de l'agriculture et de la forêt au changement climatique	153
3.1. Quatre scénarios socio-économiques pour contextualiser les options d'adaptation	154
Méthode de construction	154
Scénario 1 « Métropolisation et consumérisme »	157
Scénario 2 « Libéralisation et priorité à la production »	161
Scénario 3 « Mosaïque de territoires et d'acteurs »	165
Scénario 4 « Transition énergétique et environnementale »	169
3.2. Croisement entre scénarios de contexte socio-économique et options d'adaptation	172
Productions végétales	173
Productions animales	177
Forêt	181
Analyse du degré de transformation des systèmes et de l'attitude des acteurs face au risque	185
3.3. Synthèse par scénario des ressources et contraintes pour l'adaptation	194
Conclusion générale	199
Annexes	207

INTRODUCTION

par Bruno Hérault, chef du Centre d'études et de prospective

Le climat de la Terre est une nouvelle fois en train de changer et, d'après le jugement des scientifiques compétents, cette évolution est surtout la conséquence des émissions de gaz à effet de serre liées aux activités humaines. Le processus s'est enclenché au XIX^e siècle, avec l'industrialisation et l'urbanisation des sociétés européennes, tendances qui ont ensuite gagné toutes les régions du monde, à commencer par l'Asie, et dans une moindre mesure l'Afrique. Si la mondialisation est souvent vue sous ses seuls aspects commerciaux et géostratégiques, le changement climatique vient rappeler qu'il y a aussi globalisation des nuisances et des biens publics environnementaux. L'espèce humaine est devenue une force géophysique agissant sur la planète : le réchauffement est ainsi la plus vaste externalité jamais engendrée par l'économie humaine.

Au niveau mondial, l'évolution du climat se traduirait demain par une modification de la carte des écosystèmes. La Sibérie et le Canada pourraient connaître des températures plus chaudes, l'Amérique latine et une partie de l'Afrique verraient leur régime de précipitations modifié. La dilatation des eaux et la fonte des glaces font déjà monter le niveau des mers, avec des effets sensibles dans les zones côtières basses et les deltas des grands fleuves asiatiques. Des espèces animales et végétales migreraient en altitude, d'autres changeraient de latitude. La durée et la fréquence des intempéries augmenteraient, en particulier les périodes de pluie et de sécheresse ; les cyclones tropicaux devraient être plus nombreux et intenses, aux Caraïbes comme en Asie du Sud-Est.

L'agriculture et la sylviculture étant des activités très dépendantes des conditions naturelles, elles seraient directement impactées par ces transformations. Le climat leur est essentiel puisqu'il conditionne les apports en lumière, en chaleur ou en eau. Le décalage géographique des zones climatiques entraînerait une modification des calendriers de culture, de plantation, et un déplacement des espaces de production. Les régions potentiellement pénalisées, comme le Brésil, l'Inde ou la Chine du Sud, sont à forte densité de population et d'importants flux migratoires seraient prévisibles. Inversement, les futures régions cultivables, peu peuplées, engendreraient des agricultures très mécanisées à faible main-d'œuvre. Les vecteurs des maladies et des épidémies emprunteraient d'autres voies et gagneraient d'autres bassins d'expansion.

Le fonctionnement thermodynamique de la planète se traduira bien sûr aussi par des changements à l'échelle de l'agriculture et de la sylviculture françaises. Des conséquences déjà bien concrètes se manifestent en termes de circulation atmosphérique, de températures, de pluviométrie, de fréquence des phénomènes hors normes, etc., avec des impacts sur les stades phénologiques, les rendements ou les aires de répartition des insectes et des maladies. Notre pays sera d'autant plus concerné que la variabilité climatique devrait être particulièrement marquée dans les zones tempérées, telles l'Europe, ce qui entraînera une instabilité plus forte des productions.

Le changement climatique est un risque proprement global, sans frontières ni bornes physiques et une tonne de dioxyde de carbone expédiée dans l'atmosphère à l'autre bout du monde compte aussi sous nos latitudes. Comme tous les dangers diffus, il oblige donc à repenser les politiques, les relations et les pratiques des acteurs. C'est aussi un risque qui a une véritable singularité temporelle : le changement climatique, s'il se manifeste par une plus grande variabilité climatique (source d'incertitude), est aussi un processus largement inertiel (source de certitudes). Ces deux aspects ont toutefois en commun d'échapper à toute emprise humaine de court terme : même en freinant nos émissions aujourd'hui, le climat continuera largement sur sa lancée. Les décisions en matière d'atténuation pèsent sur cette dynamique, bien sûr, mais à l'instar d'un coup de gouvernail sur un paquebot. Plus généralement encore, beaucoup d'experts pensent que nous ne faisons qu'entrevoir le début d'un processus au très long cours, dont les ingrédients se dévoilent au fil des découvertes scientifiques, rappelant que le climat est un système instable en constante reconfiguration.

Finalement, pour quelques certitudes, le réchauffement recèle encore de nombreuses incertitudes. Nous méconnaissons des pans entiers du fonctionnement de la machine climatique. Quelles seront l'étendue et l'intensité réelles des changements engagés ? Quand et selon quel rythme vont-ils se produire ? Où se manifesteront-ils le plus clairement, et sous quelles formes ? Que faudra-t-il faire pour en limiter les effets ? Cette profonde imprévisibilité des phénomènes, qui tient à leur échelle mondiale et au grand nombre de variables en interaction, favorise l'aterrissement et l'inaction.

La temporalité du changement climatique est si grande que toute réflexion sur le sujet doit être prospective et considérer la longue période. Le réchauffement oblige à adopter une vision anticipatrice et à s'affranchir du présent pour se projeter vers les futurs probables. La prospective a ses méthodes, ses concepts, ses auteurs, ses ouvrages de référence. Néanmoins, elle n'est pas une nouvelle « discipline », proposant un « savoir nouveau », mais plutôt une attitude, une démarche, un cadre spécifique d'intelligibilité. Elle ne consiste pas à pré-dire ou à pré-voir à l'avance tel ou tel phénomène ; elle propose seulement une approche particulière de la réalité, une manière différente de se représenter les transformations des sociétés. Plutôt que de dire « la prospective », mieux vaudrait donc la considérer comme un adjectif qualificatif, et parler de « réflexion prospective » ou de « raisonnement prospectif ». Ce raisonnement se propose de jouer sur les représentations (sociales, culturelles, politiques, économiques, techniques, etc.), de modifier les conceptions mentales que nous avons de notre époque et de l'avenir, de transformer le regard porté sur la réalité. Emportés par les urgences et les routines institutionnelles, nous avons du mal à lutter contre la tendance consistant à penser que ce qui est continuera toujours d'exister. L'avenir, pourtant, n'est pas une chose déjà décidée, mais bien une chose à construire ; non pas un destin fixé à l'avance, mais une somme d'expériences à réaliser.

Pourquoi le CEP s'est-il engagé dans un travail prospectif sur les changements climatiques et sur l'adaptation de l'agriculture et de la forêt à ces changements ? Tout d'abord parce que certains problèmes engendrés aujourd'hui par le climat n'existeraient pas ou seraient moindres s'ils avaient été convenablement anticipés hier. Ensuite car les problèmes de demain seront plus maîtrisables s'ils sont imaginés dès aujourd'hui : certaines voies d'adaptation nécessitent d'être explorées puis déployées suffisamment tôt, faute de quoi elles cessent d'être une option pour demain. Le recours à la prospective, aussi, pour identifier les contraintes et les obstacles, les opportunités et les leviers, pour se donner ou redonner des marges de manœuvre et restaurer des espaces de liberté. Souvent, face au réchauffement, on dit que l'on n'a pas le temps d'agir ; on devrait plutôt dire que l'on n'a plus le temps, faute de se l'être donné. S'il est impossible de préparer le futur, on peut au moins se préparer à lui. L'essentiel n'est pas d'essayer, vainement, de prévoir exactement tout ce qui pourrait se passer demain en matière climatique, mais d'entretenir nos capacités de mobilisation et d'intervention face à ce qui se passera effectivement dans cinq, dix ou vingt ans.

Par choix, dès le départ, c'est bien la question de l'*adaptation* qui a été privilégiée dans cet exercice, l'*atténuation* constituant un sujet différent ; si cette atténuation doit rester prioritaire, les retards pris depuis Kyoto nous obligent malheureusement, de plus en plus, à raisonner aussi en termes d'adaptation. Ne pouvant tout analyser, le travail a été restreint à la France métropolitaine, les territoires d'outre-mer vivant des situations très contrastées et particulières. Nous avons tenu à traiter ensemble l'agriculture et la forêt, car il nous semblait bénéfique de comparer leurs ressemblances et différences au regard du changement climatique, comme en matière de solutions d'adaptation. Pour ce qui est de la méthode, compte tenu de la grande diversité des exploitations agricoles et sylvicoles, et de l'extrême variabilité pressentie des changements climatiques, nous avons opté pour des études de cas localisées, nous inspirant en cela de la prospective territoriale.

S'agissant d'une prospective publique animée par un service ministériel, il semblait indispensable de privilégier la réflexion collective, les échanges de points de vue et la confrontation des idées. Un groupe de travail d'une vingtaine de personnes a donc été constitué, d'origines et de sensibilités diverses, associant chercheurs, administratifs et professionnels des secteurs agricoles et forestiers. Chacun a apporté ses compétences et ses savoirs, mais aussi ses visions du futur et ses conceptions des priorités stratégiques. En pareil cas, un double positionnement est demandé aux participants : en même temps qu'ils

représentent les positions officielles d'une organisation ou d'une institution, ils doivent s'autoriser une parole personnelle et libre.

Outre l'expertise fournie par le groupe, les résultats d'un grand nombre d'études qualitatives et quantitatives ont été exploités. Cette analyse de la documentation disponible a constitué une charge importante de travail. Si la prospective doit faire appel à l'imagination et aux conjectures, et parfois risquer des hypothèses contre-intuitives, elle doit aussi reposer sur des phénomènes avérés, des preuves empiriques et des démonstrations objectivées comme seule la littérature scientifique peut en apporter.

Le groupe s'est réuni à 11 reprises, entre octobre 2011 et novembre 2012, sous le pilotage de l'équipe projet du CEP, à raison en moyenne d'une demi-journée par mois. Le rapport qu'on va lire est le résultat final de ce travail. Fruit d'une élaboration collective, il a été validé par le groupe. Nous tenons ici à nouveau à remercier l'ensemble de ses membres, pour leurs contributions lors des séances et au moment de l'élaboration du présent document.

Celui-ci comporte trois parties. La première, de bilan, décrit les principaux enjeux du changement climatique pour l'agriculture et la forêt françaises, ainsi que la perception de ce changement par les exploitants et propriétaires forestiers. Elle montre que le réchauffement a d'ores et déjà des effets perceptibles sur les productions agricoles et forestières, mais qu'il reste un enjeu difficile à appréhender et peu intégré aux stratégies de gestion des exploitations. Il y a, de ce point de vue, bien moins de différences entre agriculture et sylviculture que ce à quoi nous nous attendions. Des deux côtés, les nombreuses incertitudes par rapport à l'avenir limitent la prise de conscience des phénomènes ainsi que le passage à l'action. Les acteurs français, dans leur diversité, se mobilisent d'autant moins contre le changement climatique qu'ils se sentent encore peu vulnérables à ses conséquences.

La deuxième partie propose une démarche originale basée sur 14 études de cas représentatives de la diversité des situations locales françaises : élevage, cultures pérennes ou annuelles, forêts de feuillus ou de résineux. En s'appuyant sur des projections régionalisées de Météo-France, spécialement réalisées à notre demande, le groupe a cherché à caractériser les impacts du réchauffement envisageables pour chacun de ces cas ainsi que les stratégies d'adaptation mobilisables. Très synthétisées par rapport au travail réalisé en séances, ces quatorze situations concrètes sont ici présentées sous forme de fiches. Le changement climatique comportera des disparités géographiques importantes ; de plus, agriculture et sylviculture sont des activités ancrées sur des territoires, qui nécessitent des raisonnements au plus près des expériences de terrain. Le choix d'une méthode empirique remontante s'est donc rapidement imposé. Ces cas ont été au cœur des réflexions du groupe et nous avons tenu à ce qu'ils occupent une place importante dans ce rapport. Il ne s'agit pas à proprement parler de monographies, lesquelles auraient demandé une analyse plus fine et exhaustive des variables pertinentes, mais d'études de cas illustratives, de types-idéaux heuristiques, ne visant pas la représentativité quantitative, et encore moins statistique, mais seulement une sorte d'exemplarité qualitative.

Enfin, puisque l'adaptation au changement climatique ne passera pas seulement par des réponses techniques, la troisième partie présente quatre scénarios socio-économiques du futur, qui sont autant de contextes probables dans lesquels les parties prenantes auront à agir. Pour chacun de ces scénarios, les points et variables clés sont présentés, ainsi que des faits porteurs d'avenir et l'image attendue à l'horizon 2050. Dans un deuxième temps, ces scénarios sont croisés avec les options d'adaptation imaginées dans chacune des études de cas, ce qui permet de mieux cerner les limites de validité et d'efficacité de ces options. Pour finir, s'affranchissant des cas concrets, les dernières pages tirent des enseignements transversaux sur les facteurs favorables ou défavorables aux actions d'adaptation pour l'agriculture et la forêt. Par comparaison avec les précédents ouvrages du CEP, cette dernière partie ne comporte pas, volontairement, d'amples développements sur les recommandations à faire aux exploitants ou aux décideurs publics. L'objectif de l'équipe projet, confirmé par les souhaits du groupe, était d'en rester à la formulation de quelques grands axes stratégiques.

Nous espérons que cette lecture aidera à mieux comprendre la forme et le contenu des changements climatiques qui vont impacter l'agriculture et la forêt françaises, à en donner une image plus précise et

mesurée. Notre attente est qu'elle contribue aussi à relativiser certaines craintes, à dépassionner certains débats et à engager des réflexions plus sereines sur les enjeux de fond. Compte tenu des nombreuses incertitudes qui perdurent, l'objectif premier était d'offrir un bon panorama des connaissances actuelles, des phénomènes et des tendances.

Nous pensons aussi que ce travail, en distinguant et en quantifiant les types de risques, en précisant les échelles temporelles et géographiques, en différenciant les registres d'action, pourra intéresser tous ceux qui, demain, auront à connaître, traiter et réduire les effets du changement climatique dans les secteurs agricoles et sylvicoles. Au-delà des préoccupations de connaissance et de représentations, notre deuxième souhait était bien d'aider toutes les parties prenantes à prendre conscience des difficultés à venir et de les inciter à agir. Il n'y aura pas, pour la France et ses territoires, une seule « destinée climatique », mais des systèmes agronomiques et forestiers à défendre, des techniques culturales et sylvicoles à privilégier, des choix d'investissement à opérer et des responsabilités à prendre. La prospective est une anticipation au service de l'action, une façon indirecte et détournée de passer par le futur pour mieux intervenir dans le présent.

1.

AGRICULTURE, FORÊT ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

1.1. Les principaux enjeux du changement climatique pour l'agriculture et la forêt

Point sur les connaissances disponibles

Enjeux pour l'agriculture et la forêt

Pourquoi un exercice de prospective sur l'adaptation ?

1.2. La perception du changement climatique par les acteurs du monde agricole et forestier

Au sein du monde agricole

Au sein du monde forestier

1.3. La prospective AFClm : une démarche innovante et collective

1.

AGRICULTURE, FORÊT ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

Dans ce premier chapitre, nous présentons d'abord un point relatif aux connaissances scientifiques disponibles sur le changement climatique, puis ses effets présents et futurs sur l'agriculture et la forêt en France, soulignant ainsi les grands enjeux et les incertitudes à prendre en compte pour ces deux secteurs (section 1.1.). Ce panorama technique est complété par les résultats de deux enquêtes sur la perception du changement climatique et les enjeux de l'adaptation, au sein des mondes agricole et forestier (section 1.2.). Ces éléments montrent l'intérêt d'une approche prospective pour anticiper et intégrer les différents défis que pose l'adaptation de l'agriculture et de la forêt (section 1.3.).

1.1. LES PRINCIPAUX ENJEUX DU CHANGEMENT CLIMATIQUE POUR L'AGRICULTURE ET LA FORÊT

Point sur les connaissances disponibles

D'après l'Organisation météorologique mondiale, le climat peut être défini comme les conditions atmosphériques moyennes d'une région donnée, établies sur des critères d'ordres météorologique et statistique (températures moyennes, précipitations mensuelles, etc.) et considérées sur une période d'au moins trente ans. À l'échelle de la planète, le climat est le produit, dans l'espace et dans le temps, d'interactions complexes entre l'atmosphère, les océans et la biosphère. Le climat peut varier, sur des échelles de temps longues, sous l'effet de facteurs externes tels que des éruptions volcaniques ou des variations de l'activité solaire. D'autres variations sont des modifications internes au système lui-même, comme le phénomène *El Niño*.

Dans ce rapport, nous désignons par « le changement climatique » les modifications du climat dues à l'altération de la composition de l'atmosphère sous l'effet direct et indirect des activités humaines, venant s'ajouter à ses variations naturelles. Le changement climatique se manifeste en premier lieu par l'augmentation de la température moyenne du globe. Par commodité, nous utilisons donc parfois comme synonyme l'expression « réchauffement climatique ». Mais cela ne doit pas faire oublier les autres dimensions de ce phénomène : élévation du niveau des mers, acidification des océans, modification des régimes de précipitations, etc.

Les travaux des chercheurs et du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) ont permis d'aboutir à un consensus scientifique sur les causes de ce changement climatique : le facteur essentiel en est le forçage climatique dû à l'augmentation des concentrations atmosphériques des principaux gaz à effet de serre (GES), que sont : le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et l'oxyde nitreux ou protoxyde d'azote (N₂O) (GIEC, 2007). Ces hausses de concentration sont très majoritairement dues aux activités humaines et les niveaux de GES dépassent aujourd'hui très largement les valeurs mesurées sur plusieurs milliers d'années. L'augmentation mondiale de la concentration en CO₂ est essentiellement due à l'utilisation des combustibles fossiles et aux changements d'affectation des terres, tandis que la concentration accrue de CH₄ et N₂O est essentiellement due à l'agriculture (*cf.* encadré n° 1). Ce consensus scientifique a été confirmé par plus de quarante académies des sciences dans le monde (dont celles des États-Unis et de l'ensemble des pays européens). Ainsi, en France, dans un rapport rendu public fin 2010¹, l'Académie des sciences réfute les thèses climato-sceptiques et réaffirme que l'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère due aux activités humaines est la cause principale du changement climatique.

Le changement climatique conduit d'ores et déjà à de nombreux effets mesurables, tels que l'augmentation de la température moyenne globale (+ 0,74 °C entre 1906 et 2005, *cf.* figure n° 1) et de celle des océans, la fonte de la banquise et des glaciers de montagne, ou encore l'élévation du niveau moyen mondial de la mer (GIEC, 2007). À l'échelle des continents, des régions et des bassins océaniques, d'autres modifications à long terme ont également pu être observées, incluant des changements dans les volumes de précipitations, la salinité de l'océan, les structures des vents et des phénomènes climatiques extrêmes, tels que les sécheresses, les fortes précipitations, les tempêtes de neige, les vagues de chaleur et l'intensité des cyclones tropicaux (typhons et ouragans). Outre la magnitude du changement climatique, il faut également souligner la vitesse du phénomène : le climat de la planète n'a jamais connu de modifications aussi rapides depuis au moins 100 000 ans.

1. Site www.academie-sciences.fr/activite/rapport/rapport261010.pdf

Encadré n° 1

CONTRIBUTION DES SECTEURS AGRICOLE ET FORESTIER AUX ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE ET POLITIQUES PUBLIQUES D'ATTÉNUATION

L'atténuation du changement climatique et l'adaptation à ce changement tendent à être traitées comme deux champs distincts, tant par la recherche que par les politiques publiques. Si la prospective AFCLim se concentre sur les enjeux de l'adaptation, il est important de ne pas oublier les questions d'atténuation et les politiques publiques de réduction des émissions de GES.

■ L'agriculture et la forêt contribuent aux émissions de gaz à effet de serre

Au niveau mondial, les secteurs agricole et forestier ont émis en 2004 respectivement 13,5% et 17,4% des gaz à effet de serre (Metz *et al.*, 2007, GIEC). L'agriculture émet essentiellement du méthane (CH₄), lié à la riziculture et à l'élevage de ruminants, et du protoxyde d'azote (N₂O) lié à l'utilisation d'engrais azotés de synthèse. La forêt émet essentiellement du dioxyde de carbone (CO₂), lié à la déforestation et à la décomposition de la biomasse de surface. Les feux de forêt conduisent également à l'émission de CO₂.

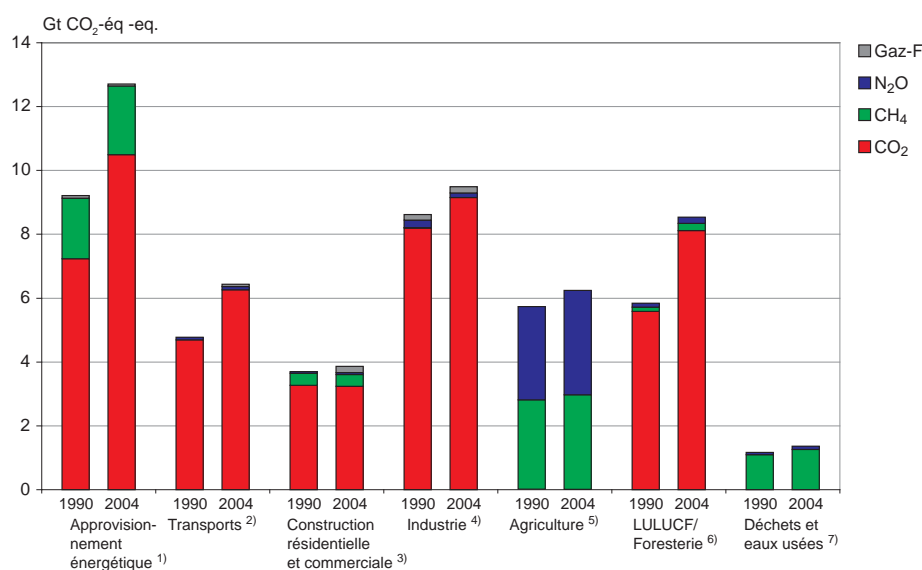
En France, en 2010, l'agriculture était responsable d'environ un cinquième des émissions de GES. Ces émissions ont diminué de 10% depuis 1990. Les principales sources

d'émission du secteur agricole sont l'emploi d'engrais azotés (45%), la fermentation entérique des ruminants (26%), les déjections animales (18,5%) et la consommation énergétique des engins et bâtiments agricoles (10,5%). L'utilisation des terres, leurs changements et la forêt (UTCF) constituent également une source d'émissions ou de séquestration de carbone, en fonction des pratiques de gestion. En France, sur la période 1990-2010, la principale évolution des flux de carbone est liée à la croissance forestière (en surface et en volume), qui engendre un puits croissant de CO₂. La France possède ainsi un puits estimé à environ 50 MtCO₂ pour l'ensemble du secteur UTCF.

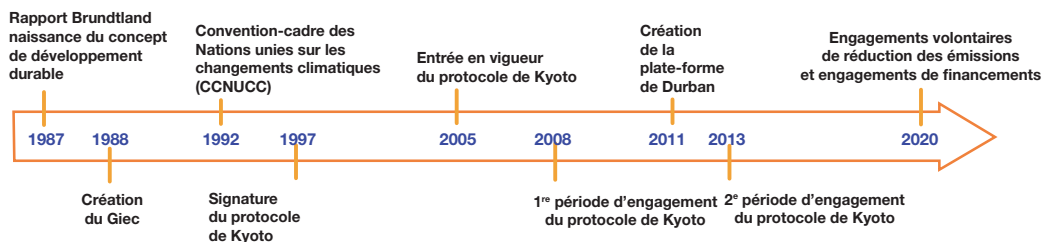
■ Les politiques publiques de lutte contre le changement climatique

En 1992, la convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) a été adoptée à Rio de Janeiro, dans le but de limiter les impacts anthropiques sur le climat. Elle a été suivie en 1997 par la signature du protocole de Kyoto (entrée en vigueur en 2005), qui vise à réduire d'au moins 5% les émissions de quarante pays les plus industrialisés sur la période 2008-2012 par rapport à 1990.

Émissions de GES par secteur en 1990 et 2004



« LULUCF » *Land Use, Land Use Changes and Forestry* : soit « UTCF » en français pour *Utilisation des terres, leurs changements et la forêt*.
 Source : GIEC, Rapport du groupe de travail III, *L'atténuation du changement climatique* (Metz *et al.*, 2007).



Source : Chiffres clés du climat, Édition 2013, ME DDE.

Les États-Unis et la Chine n'ont pas ratifié ce protocole, le Canada s'en est retiré en 2011, et la Russie et le Japon n'ont pas prolongé leur engagement dans la deuxième phase du protocole de Kyoto si bien que, en l'état des négociations internationales, l'engagement de réduction d'émissions est essentiellement européen.

L'Union européenne s'est fixée trois objectifs à l'horizon 2020 (dits « 3 x 20 ») :

- porter à 20% la plupart des énergies renouvelables dans les énergies consommées;
- améliorer de 20% l'efficacité énergétique;
- réduire de 20% les émissions de GES par rapport à 1990.

Le paquet énergie-climat de 2009 établit une répartition de l'effort entre États membres et fixe des moyens plus précis pour atteindre ces objectifs. En France, ces objectifs européens sont déclinés dans le cadre du Plan Climat :

- objectif de 23% d'énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie d'ici 2020. Le développement des biocarburants doit y contribuer, avec actuellement un objectif de taux d'incorporation de 7% au niveau national ;
- objectif de 30% d'exploitation agricoles à faible dépendance énergétique en 2013. Cet objectif fixé dans le cadre du Grenelle de l'environnement sera difficile à atteindre, mais il continue de structurer la mise en œuvre du Plan de performance énergétique (2009), notamment *via* le deuxième pilier de la Politique agricole commune (PAC) ;
- objectif de réduction de 14% des émissions de GES hors secteurs couverts par le système commun d'échange des quotas d'émissions (SCEQE), entre 2005 et 2020. Le secteur agricole aujourd'hui du SCEQE, est directement concerné par cet objectif. Avec déjà près de 7% de baisse en 2010, l'objectif semble atteignable.

Les principales mesures du Plan Climat permettent de poursuivre les réductions d'émissions dans les secteurs agricoles et forestier sont la maîtrise des fertilisations azotées, les actions pilotes de développement de nouvelles pratiques agricoles, la réduction des consommateurs de tracteurs, la collecte et la valorisation du biogaz provenant des déjections animales et des industries agro-alimentaires, la valorisation et le développement des produits issus de la biomasse (bois, construction, bois-énergie, biocarburants).

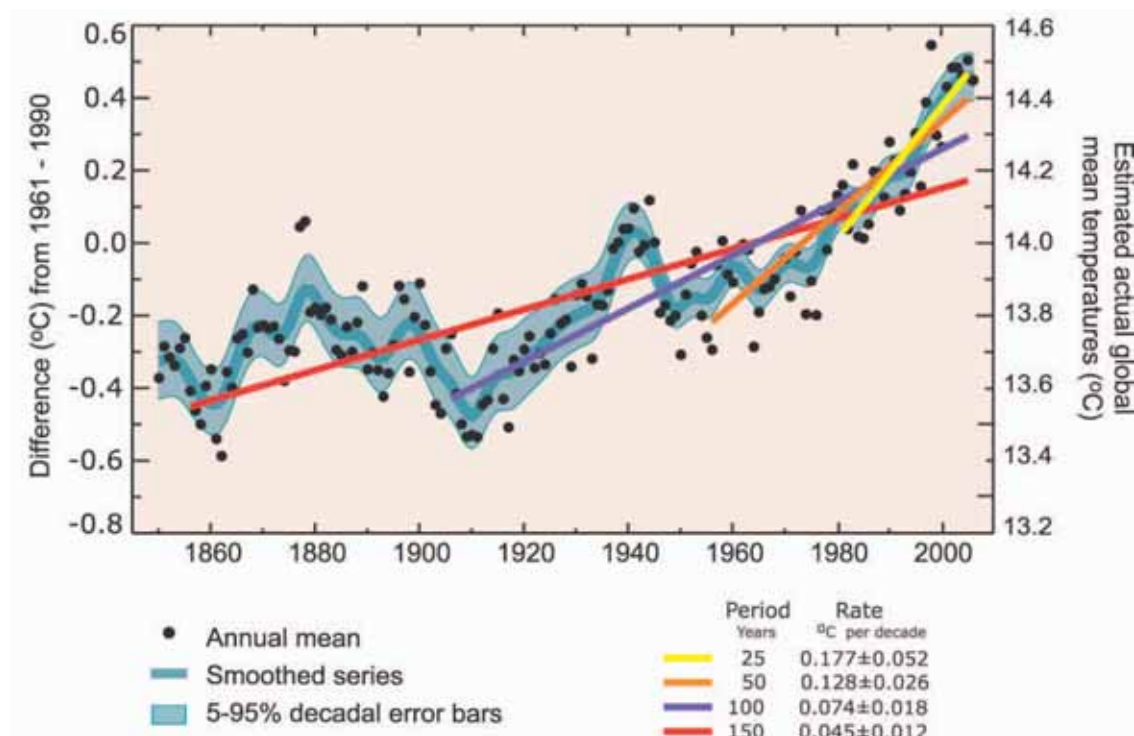
De plus, la France s'est fixée l'objectif de long terme de réduire par quatre ses émissions de GES entre 1990 et 2050 (« Facteur 4 de la loi POPE de 2005 »). La conférence environnementale de 2012 a par ailleurs proposé de nouveaux objectifs globaux pour 2030 (- 40%) et 2060 (- 60%).

Le changement climatique est également un enjeu bien identifié pour la PAC post-2013, notamment par son intégration plus explicite dans le deuxième pilier pour 2030 (mesures agro-environnementales et climatiques).

Enfin, on peut noter le lancement du Plan national d'adaptation au changement climatique en 2011(*) visant à anticiper les effets du changement climatique et à aider les acteurs de l'ensemble des secteurs économiques aux futures contraintes climatiques. L'agriculture et la forêt, devant faire face à d'importants effets du changement climatique, font l'objet d'action spécifiques.

(*) Voir <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Le-Plan-d-adaptation,22978.html>

Figure n° 1. **Évolution de la température globale moyenne estimée**



Source : GIEC, rapport du groupe de travail I, *Les éléments scientifiques* (Solomon et al., 2007).

Pour mesurer le climat et le changement climatique, différents indicateurs basés sur des tendances passées sont utilisés. Les simulations climatiques s'appuient sur des modèles explicatifs construits avec ces indicateurs et confrontés ensuite aux observations. Ces modèles peuvent être utilisés pour construire des projections du climat futur en faisant des hypothèses sur le niveau futur d'émissions de GES (cf. encadré n° 3). Les simulations sont effectuées à l'échelle globale et peuvent ensuite être régionalisées. Ce travail de projection est marqué par des incertitudes liées à la variabilité naturelle du climat, aux modèles utilisés (notamment la difficulté à modéliser les nuages et l'interface atmosphère/océan), aux méthodes de régionalisation des résultats et aux différents scénarios d'émissions de GES.

Les projections de climat à l'échelle d'un territoire comme la France sont donc issues d'une compilation des résultats de plusieurs modèles et plusieurs méthodes de régionalisation. Ces travaux, principalement conduits par Météo-France (modèle Arpege), permettent d'envisager certaines tendances pour le milieu du XXI^e siècle (scénario d'émissions A1B, cf. encadré n° 3 p. 38) :

- une augmentation des températures moyennes, en particulier en été, avec des épisodes de canicule plus fréquents (cf. figure n° 2) et des risques de sécheresse accrus ;
- une diminution de plus de 50 mm des cumuls annuels de pluie après 2040, une baisse des précipitations hivernales dans le sud de la France ainsi que des sécheresses hivernales sévères à extrêmes dans l'ouest dès 2050 (cf. figure n° 3).

Figure n° 2a. **Températures moyennes quotidiennes**

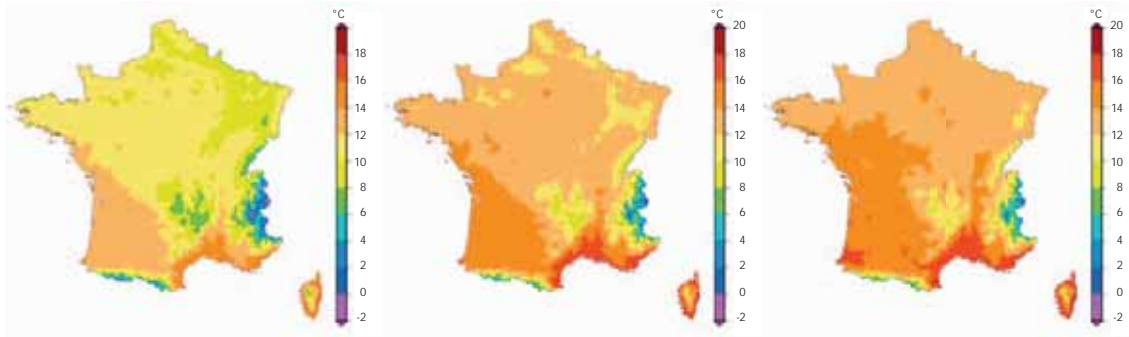


Figure n° 2b. **Nombre de journées dont la température maximale dépasse 25 °C**

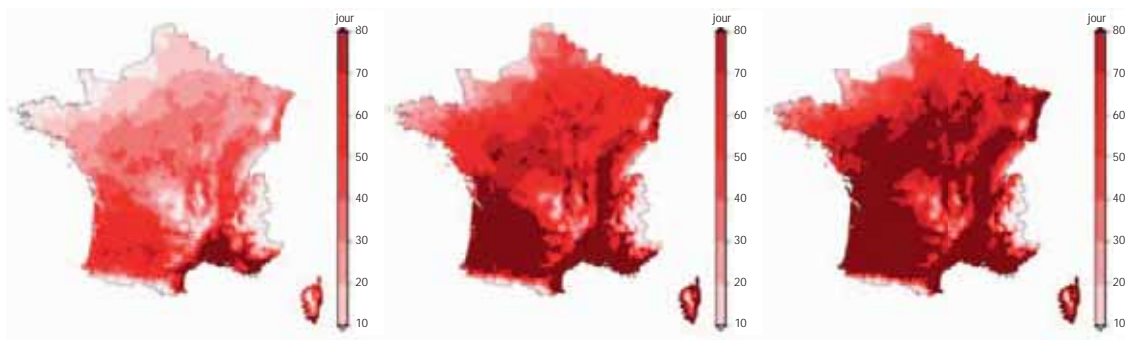
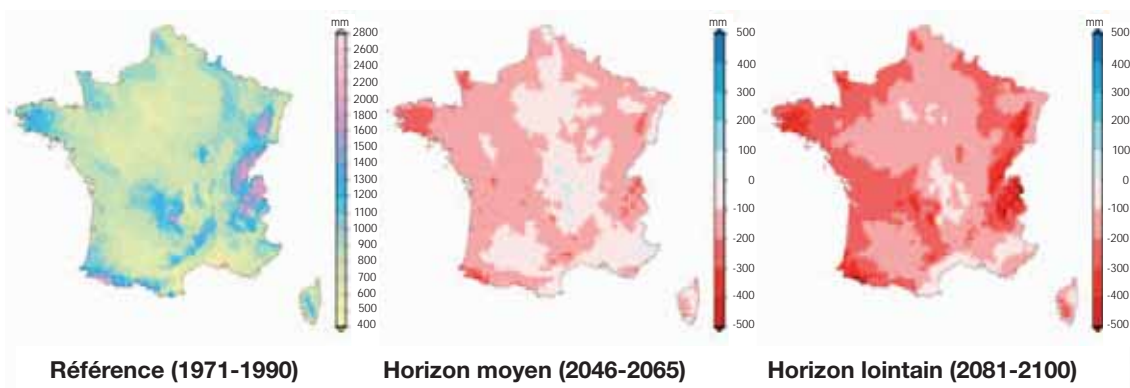


Figure n° 3. **Carte des anomalies annuelles de précipitations**



Source : Météo-France (CERFACS - France CNRM, modèle Arpege-V4, scénario A1B).

Enjeux pour l'agriculture et la forêt

Les observations effectuées sur tous les continents par les scientifiques² montrent que de nombreux systèmes agricoles et naturels sont d'ores et déjà affectés par des changements climatiques régionaux. Malgré une variabilité importante, les projections mondiales indiquent qu'une hausse des températures locales moyennes de l'ordre de 1 à 3°C pourrait augmenter le potentiel de la production alimentaire, à condition que la disponibilité en eau soit suffisante (Pachauri *et al.*, 2007, GIEC). Pour des changements climatiques de plus grande ampleur, ce potentiel serait largement en diminution. D'après les travaux disponibles, la fréquence accrue des sécheresses et des inondations pourrait affecter négativement la production agricole locale, en particulier à des latitudes basses. Globalement, la productivité de la sylviculture pourrait s'accroître modestement avec le changement climatique à moyen terme, avec une large variabilité autour de la tendance globale. Par exemple, en France, il semble que la productivité stagne dans la moitié Nord, pour le hêtre par exemple, tandis qu'elle a plutôt diminué en zone méditerranéenne.

Au niveau national, établir l'influence du changement climatique sur l'agriculture et la forêt françaises n'est pas aisé car de nombreux facteurs entrent en jeu dans l'équilibre des écosystèmes et la variabilité locale est grande. Néanmoins, plusieurs exemples permettent de confirmer le lien entre l'évolution du climat et celle des cultures et des peuplements forestiers. L'avancée des stades phénologiques observée sur la vigne, les arbres fruitiers et de nombreuses essences forestières est par exemple reconnue comme un marqueur du changement climatique. Cette tendance a un impact direct pour les agriculteurs qui ont adapté depuis plusieurs décennies les calendriers des opérations culturales (dates de semis et de récolte notamment).

Les tendances climatiques de ces vingt dernières années ont également eu un impact sur la productivité des arbres et des cultures. Par exemple, la betterave a profité du réchauffement (Escriou *et al.*, 2010) alors que pour le blé, sécheresses estivales et températures élevées expliquent l'essentiel de la stagnation des rendements observée depuis le milieu des années 1990 (Brisson *et al.*, 2010). En forêt, l'augmentation de la productivité constatée depuis les années 1930 tient en partie à des facteurs climatiques (Dhôte *et al.*, 2000).

Par ailleurs, le climat influe sur les aires de répartition des insectes et maladies, modifiant les conditions sanitaires des cultures et des forêts. L'extension vers le nord et en altitude de la chenille processionnaire du pin ou l'extinction du phomopsis du tournesol dans le Sud-Ouest, après la canicule de 2003 (Seguin, 2007), sont considérées comme des effets liés au changement climatique.

De manière plus empirique, des événements climatiques extrêmes (sécheresses, vagues de froid, tempêtes, inondations, etc.) causent régulièrement la destruction d'une partie des prairies, des cultures ou des peuplements forestiers. Si ce type d'événements n'est pas inédit dans la mémoire des acteurs, leur fréquence accrue pose néanmoins la question de la résistance des systèmes de production agricoles et forestiers à ces chocs climatiques peu prévisibles et difficilement maîtrisables. Si, en l'état actuel des connaissances sur le climat, on ne peut affirmer avec certitude que la récurrence de ces événements extrêmes soit liée au réchauffement, les travaux scientifiques suggèrent qu'un climat plus chaud sera également plus instable (GIEC, 2012).

Les projections indiquent que l'ampleur des dérèglements climatiques augmentera dans les décennies à venir. Des simulations par culture et par essence³ permettent d'identifier les impacts, positifs ou négatifs, sur l'agriculture et la forêt. On sait ainsi que l'avancée des stades phénologiques et l'allongement des périodes végétatives devraient se poursuivre avec le réchauffement, de manière variable selon les espèces. Si l'on ne peut pas prédire précisément les conditions climatiques saisonnières des nouveaux calendriers phénologiques, il semble que certains risques vont augmenter à l'avenir, comme le stress hydrique ou l'échaudage des cultures, entraînant pertes de rendements, dépérissements des forêts voire destruction des cultures et des prairies. L'augmentation de l'évapotranspiration, couplée à la baisse des précipitations, modifieraient les conditions de confort hydrique des plantes et des arbres. L'irrigation pourrait devenir nécessaire pour conserver certaines cultures aujourd'hui pluviales alors que les ressources en eau seraient réduites dans des régions déjà

2. Pour une synthèse, voir Pachauri *et al.*, 2007, GIEC.

3. Ces résultats, issus du croisement de modèles climatiques avec des modèles de croissance des plantes et des arbres, sont très dépendants des projections climatiques et donc des incertitudes liées à ces projections.

déficitaires. L'augmentation des épisodes de forte chaleur et de sécheresse pourrait dégrader l'état de santé des cheptels et accroître les risques de feux de forêt et d'invasions d'insectes (Pachauri *et al.*, 2007, GIEC). En revanche, le risque de gel diminuerait pour certaines cultures et essences (Brisson et Levraut, 2010). De grandes incertitudes persistent sur les impacts réels du changement climatique dans le futur : la croissance des plantes et des arbres sera en effet soumise à des effets parfois contradictoires dont on ne sait pas déterminer lequel prévaudra. Par exemple, certaines cultures et certains peuplements forestiers profiteraient de l'augmentation des températures et de la disponibilité accrue du CO₂ atmosphérique, mais le manque d'eau pourrait annuler cet effet bénéfique.

Malgré ces limites, on peut d'ores et déjà imaginer certaines voies d'adaptation. La sélection génétique, le décalage des calendriers de culture, de nouvelles organisations dans la gestion des systèmes fourragers et des pratiques sylvicoles adaptatives pourraient permettre d'esquiver au moins en partie ces risques climatiques. Dans un climat plus chaud, de nouvelles cultures et essences pourraient également devenir intéressantes dans certaines zones géographiques, suggérant des changements de production et d'essences principales.

Pourquoi un exercice de prospective sur l'adaptation ?

L'agriculture et la forêt sont deux secteurs particulièrement exposés aux changements du climat, dont les effets sont susceptibles de s'accroître dans l'avenir. Étant donné leurs contributions à l'économie française, à l'aménagement des territoires et à la gestion de l'environnement, leur adaptation est un défi majeur, tant pour éviter des difficultés majeures que pour profiter de nouvelles opportunités. Bien que les projections climatiques actuellement disponibles ne concernent que des horizons lointains, il est important d'engager dès maintenant des réflexions sur l'évolution de ces secteurs face au changement climatique.

Plusieurs incertitudes existent quant à cette évolution, en premier lieu celles inhérentes aux outils de simulation (modèles climatiques et d'impacts), dont les résultats nourrissent les réflexions sur l'adaptation. En termes techniques, un large spectre de solutions semble envisageable, allant de l'ajustement de l'existant (systèmes de production, pratiques et itinéraires actuels) à des changements plus conséquents (diversification, réorientation de productions ou d'essences, voire changement de systèmes de production ou d'usage des sols). Différentes voies s'ouvrent dont on ne peut dire à l'avance lesquelles remporteront l'adhésion des acteurs. Car ces adaptations ne se feront qu'avec une forte mobilisation, non seulement de la part des agriculteurs et des forestiers, mais aussi de tous les acteurs des filières (recherche, fournisseurs, coopératives de collecte, industriels, consommateurs, etc.). En matière de stratégies d'adaptation, tous ces acteurs seront confrontés à des choix d'autant plus complexes qu'aux facteurs techniques s'ajoutent des facteurs économiques, sociaux et organisationnels, qui joueront comme catalyseurs ou au contraire comme freins à la mise en œuvre d'actions d'adaptation. C'est pourquoi les simulations agroclimatiques, qui permettent d'appréhender les effets du changement climatique sur la croissance et la survie des cultures et des peuplements forestiers, ne seront pas suffisantes pour anticiper les défis à venir.

Face à cette complexité et aux incertitudes qui l'entourent, un exercice de prospective est un outil approprié pour dépasser le court terme, explorer différents scénarios possibles et interroger nos représentations et nos capacités d'action. La prospective invite en effet les acteurs à envisager le futur comme ouvert et non écrit par avance. Elle se distingue donc de la prévision mais aussi de la planification, normative et prescriptive. Tout en s'appuyant sur l'analyse des tendances et des données quantitatives, la prospective réserve une place importante aux variables qualitatives, aux jeux d'acteurs et aux contingences. En cela, elle doit être considérée non pas comme une lointaine prédiction mais comme un outil de prise de conscience, de mobilisation et d'aide à la décision.

Un rapide panorama des études disponibles montre que, si l'on dispose d'une assez bonne connaissance des aspects techniques du sujet, peu de travaux ont jusqu'ici pris en compte les dimensions socio-économiques de l'adaptation au niveau national. Les travaux issus du projet Climator (Brisson et Levraut, 2010) ont permis de modéliser les impacts du changement climatique en France sur différentes cultures et à différents horizons temporels (futur proche ou lointain). Des travaux similaires ont été menés par l'ACTA et ont permis de compléter les connaissances sur les systèmes fourragers (ACTA-MIRES, 2009). Le projet

Climsec⁴, porté par Météo-France et basé sur des projections climatiques régionalisées, a approfondi les effets du changement climatique sur la ressource en eau, mettant en évidence d'importantes variations régionales et saisonnières. Certaines prospectives régionales (dans le cadre du groupement d'intérêt scientifique Alpes-Jura⁵ ou de programmes de recherche « Pour et sur le Développement Rural »⁶ par exemple) se sont davantage focalisées sur les pistes d'adaptation, mais ces travaux sont par essence spécifiques au contexte dans lequel ils ont été menés et donc difficilement mobilisables pour éclairer la question au niveau national.

Ce rapide panorama montre également que les travaux disponibles ont traité séparément le secteur agricole et le secteur forestier, aux niveaux français (ex. : projet CARBOFOR porté par l'INRA en 2004) et européen, à l'image des deux études de la Commission européenne de 2007 et 2008⁷. Or, malgré de fortes différences entre ces deux secteurs, il est intéressant de les analyser conjointement, pour plusieurs raisons. D'abord, dans la mesure où il s'agit d'activités de production basées sur des cycles biologiques, les expériences des uns peuvent alimenter les réflexions des autres. Par exemple, le secteur forestier bénéficie d'une expérience avancée dans l'observation des changements climatiques et la réflexion sur les actions d'adaptation. Il est en outre intéressant d'observer les possibilités de changements d'usage des sols entre l'agriculture et la forêt. Enfin, des stratégies innovantes d'adaptation intégrant systèmes de culture et d'élevage et productions ligneuses (agroforesterie et agropastoralisme) pourraient émerger, qui relient les deux secteurs.

Ainsi, la question de l'adaptation de l'agriculture et de la forêt aux effets du changement climatique reste encore peu investie, et elle est peu intégrée aux choix de gestion des acteurs concernés. Or, ce changement représente un défi majeur face auquel il est crucial de mobiliser ces acteurs et de les aider à se projeter dans l'avenir et à identifier des moyens d'agir. La prospective AFClim propose donc une analyse large des différentes pistes d'adaptation possibles et un traitement conjoint de la forêt et de l'agriculture. Cette analyse vise en particulier à explorer différents scénarios d'adaptation, en tenant compte d'évolutions d'ordres technique et agronomique, mais aussi économique et organisationnel, peu étudiées jusqu'ici.

1.2. LA PERCEPTION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE PAR LES ACTEURS DU MONDE AGRICOLE ET FORESTIER

Le changement climatique est connu depuis plus d'une trentaine d'années dans la sphère scientifique et est aujourd'hui l'objet de recherche de nombreux climatologues. Le GIEC, qui rassemble leurs expertises, a produit, depuis sa création en 1988, quatre grands rapports de synthèse faisant l'état des lieux des connaissances sur ce phénomène⁸. Depuis les années 1990, le changement climatique est également devenu un objectif politique de niveau mondial. Au-delà des États, l'enjeu du changement climatique, largement relayé par les médias, suscite un vaste débat et des préoccupations dans l'opinion publique. Selon un baromètre de 2008⁹, 62% des Européens placent le changement climatique comme « deuxième problème le plus sérieux pour le monde dans son ensemble ». Les controverses des débuts se sont progressivement atténuées – même si des courants climato-sceptiques demeurent – et une forte proportion de citoyens est aujourd'hui convaincue de la réalité du phénomène. Selon une enquête¹⁰ de 2012 menée auprès de 13 000 personnes dans treize pays, neuf personnes sur dix pensent que

4. Site http://www.cnrm-game.fr/IMG/pdf/2011_fmaif_rapport_final_v2.2.pdf

5. Site http://www.gisalpesjura.fr/spip.php?page=action_public&id_rubrique=327&id_rub_action=89&en_cours=88

6. On citera entre autres les programmes menés dans les régions grand ouest (Climaster), Languedoc-Roussillon (Climfourrel) et Midi-Pyrénées (Eausage).

7. *Adaptation to Climate Change in the Agricultural Sector* (2007) :

http://ec.europa.eu/agriculture/analysis/external/climate/final_en.pdf

Impacts of Climate Change on European Forests and Options for Adaptation (2008) :

http://ec.europa.eu/agriculture/analysis/external/euro_forests/full_report_en.pdf

8. Accessibles sur http://ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml#1

9. *Les attitudes des Européens vis-à-vis du changement climatique*, Eurobaromètre spécial, n° 300, (2008). Enquête commanditée par la Commission et le Parlement européens.

http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_300_full_fr.pdf

10. *La perception individuelle des risques climatiques*. Étude AXA/Ipsos 2012.

http://www.axa.com/lib/axa/uploads/cahiersaxa/Etude-AXA-Ipsos_risques-climatiques.pdf

« le climat a effectivement connu des changements importants ces vingt dernières années » (84 % en France¹¹), trois quarts estiment que « le changement climatique est scientifiquement prouvé » (77 % en France), et 73 % des sondés disent l'avoir « constaté par eux-mêmes ».

La dimension mondiale du changement climatique incite naturellement à focaliser l'attention sur les solutions discutées à cette échelle, notamment sur les négociations du partage des efforts qui permettront ou non d'aboutir à une réduction des émissions de GES. Quoi qu'il en soit, les changements déjà amorcés vont se poursuivre dans les décennies à venir et tous les secteurs économiques seront contraints de s'y adapter. Dans cette perspective, les dimensions sociales et organisationnelles seront probablement tout aussi importantes que le progrès technologique. Ainsi, les acteurs de l'économie et plus largement de la société joueront, par leurs actions individuelles ou collectives, un rôle de premier plan, et leur mobilisation dépendra avant tout de leur perception du changement climatique.

Cela est particulièrement vrai dans les secteurs agricole et forestier où les impacts, ressentis directement, contraindront les exploitants à adapter leurs systèmes de production. La partie suivante s'attache donc à investiguer la perception du changement climatique des acteurs de ces secteurs au travers des résultats de deux enquêtes. La première, commanditée par le CEP dans le cadre de la prospective AFClm, concerne le monde agricole. Elle a été réalisée par l'Assemblée permanente des chambres d'agriculture (APCA) en 2012, auprès de ses conseillers et de ses élus. La deuxième concerne les acteurs forestiers et a été menée en 2010 par le Centre national de la propriété forestière (CNPF), auprès des ingénieurs et techniciens de son réseau, dans le cadre du programme de recherche ANR Dryade. En recueillant les avis des acteurs agricoles et forestiers, ces travaux permettent de mieux comprendre ce que représente aujourd'hui le changement climatique pour leurs activités, et apporte un éclairage sur l'acceptabilité des mesures d'adaptation et sur les leviers ou les freins à leur mise en œuvre.

Au sein du monde agricole

L'enquête réalisée par le service Agriculture-Environnement de l'APCA avait pour principaux objectifs 1) d'identifier les perceptions du changement climatique et de ses conséquences sur l'agriculture ; 2) de caractériser les actions d'adaptation actuellement menées par les agriculteurs et celles envisagées dans le futur ; 3) de cerner les principales difficultés et opportunités perçues pour leur mise en œuvre.

Elle s'est adressée pour cela à deux types d'acteurs des chambres d'agriculture : les conseillers, exprimant à la fois leur point de vue d'expert et relayant celui des agriculteurs avec lesquels ils sont régulièrement en contact ; et les élus, exprimant à la fois leur point de vue d'agriculteur et celui de représentant des territoires agricoles. Leurs opinions ont été recueillies selon deux méthodes distinctes : un questionnaire fermé a été adressé aux conseillers (344 réponses sur environ 3 250 questionnaires envoyés) et des entretiens semi-directifs (treize) ont été réalisés auprès des élus.

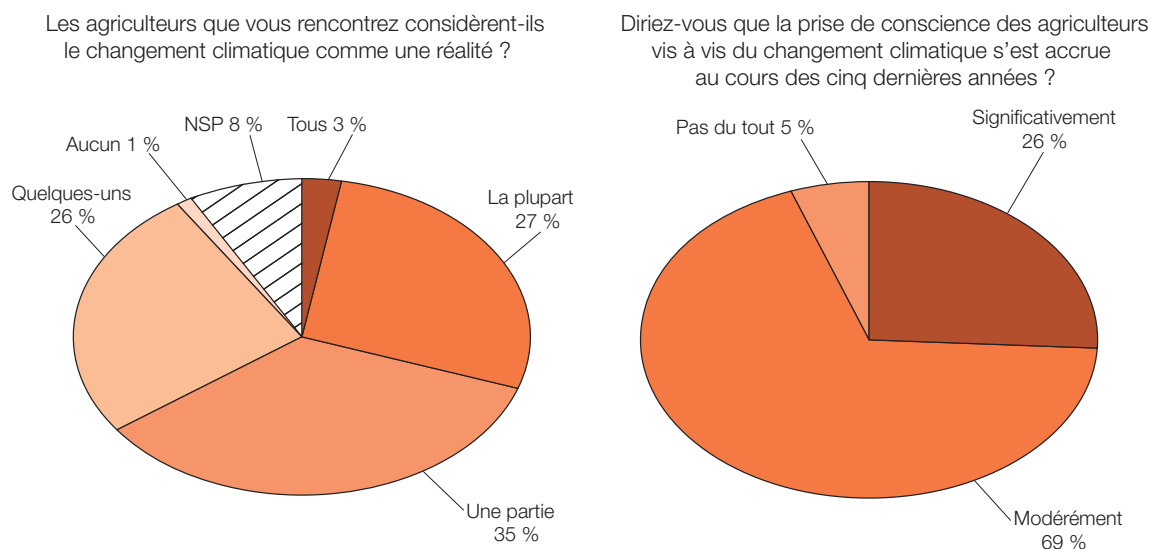
Les résultats présentés à la suite sont issus de l'analyse et de la synthèse des réponses obtenues. Ils ne prétendent pas représenter l'ensemble des points de vue du monde agricole et ne reflètent pas nécessairement les positions officielles des structures concernées. Ils sont l'illustration de l'opinion, nécessairement subjective, d'un ensemble d'acteurs agricoles, agriculteurs ou conseillers. C'est d'ailleurs la finalité de cette enquête puisqu'elle ne cherche pas tant à interroger les connaissances techniques des acteurs, mais plus à recueillir une image de leurs perceptions.

Même si la réalité du changement climatique fait l'objet d'un consensus scientifique assez large, la question continue de susciter des doutes et rencontre toujours certaines oppositions, aussi bien parmi les spécialistes que parmi les profanes. Les enquêtés ont donc été interrogés dans un premier temps, sur leur compréhension générale du phénomène, la manière dont ils le définissent, leurs opinions en la matière. Parmi les conseillers, 90 % considèrent le changement climatique comme une réalité (84 % en moyenne pour la population française¹²) et ils reconnaissent en majorité son origine anthropique.

¹¹ et ¹². Sondage IPSOS 2010, « Les Français n'ont pas de doute sur la réalité du changement climatique ».

D'après les conseillers, une majorité d'agriculteurs considère également le changement climatique comme une réalité et leur prise de conscience de cet enjeu s'est accrue ces dernières années (cf. figure n° 4).

Figure n° 4

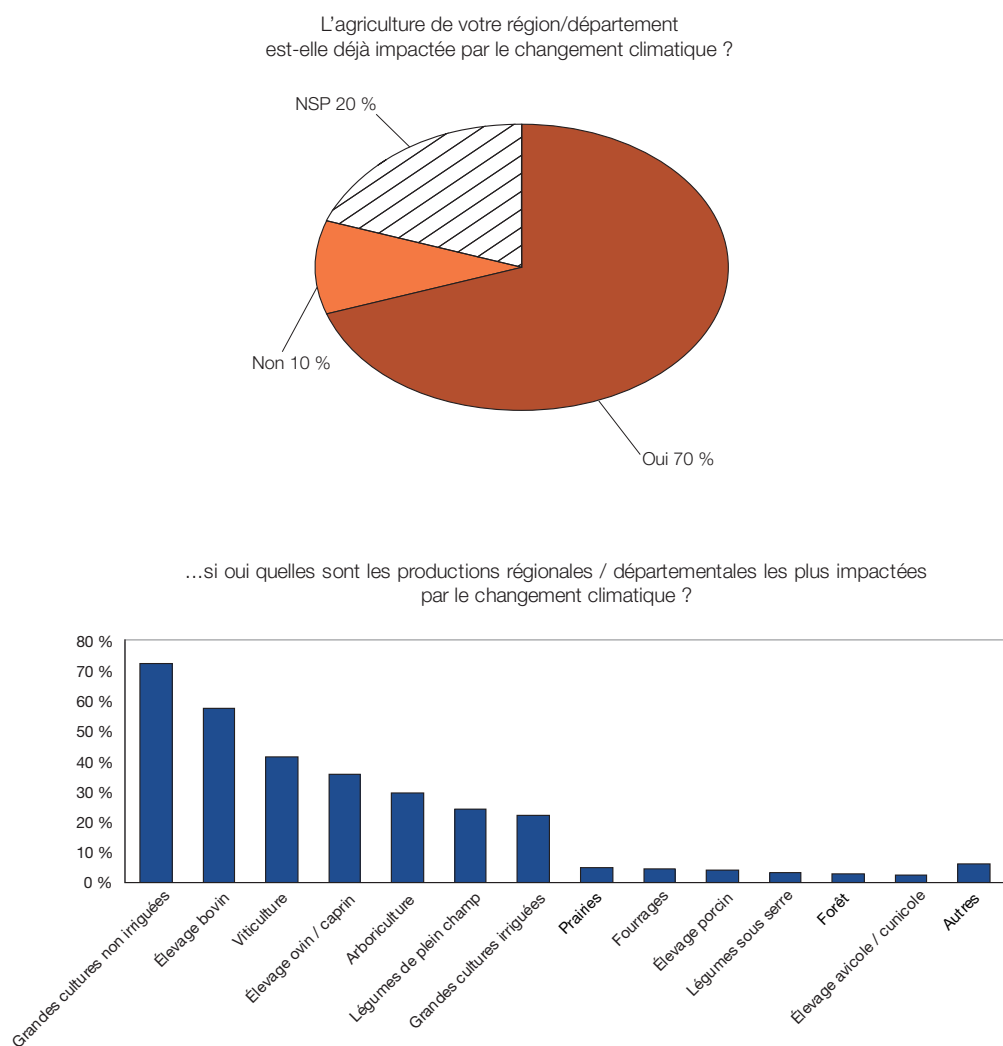


Source : Enquête APCA-CEP.

Pour une majorité des élus interrogés, le changement climatique s'apparente à une tendance de long terme au réchauffement, imputable à la croissance des émissions de gaz à effet de serre, comme le décrivent les climatologues. Pour certains en revanche, on ne peut exclure une évolution liée aux cycles naturels du climat et à une multiplicité d'autres facteurs. Les résultats des entretiens font en effet ressortir une compréhension assez incertaine du changement climatique. Il est souvent évoqué comme un sujet « difficilement maîtrisable », que nous pouvons expliquer par plusieurs facteurs. En premier lieu, la complexité des travaux de climatologie et les incertitudes inhérentes aux modélisations du climat rendent les projections climatiques opaques aux yeux des enquêtés. Leur horizon lointain ne contribue pas non plus à faciliter leur appropriation. En second lieu, il existe une certaine confusion dans l'utilisation des notions de « climat » et de « météorologie ». Les scientifiques distinguent le « climat » – moyenne des conditions météorologiques sur le long terme, à une échelle généralement vaste – de la « météorologie » – données observées quotidiennement et localement. En revanche, la majorité des enquêtés assimilent les deux et peuvent percevoir des événements météorologiques ponctuels – une vague de grand froid, un été pluvieux – comme contradictoires avec la thèse du changement climatique. Les agriculteurs, particulièrement attentifs aux variations quotidiennes du climat local, peuvent avoir tendance à retenir des successions d'événements météorologiques déconnectés les uns des autres, plutôt que des tendances climatiques établies sur plusieurs années.

Au-delà de la compréhension d'un phénomène climatique mondial, l'enquête a ensuite cherché à explorer le ressenti des acteurs du monde agricole en interrogeant leur perception de ses effets sur leurs activités. Pour la majorité des conseillers (70%), l'agriculture de leur région subit d'ores et déjà des impacts du changement climatique (cf. figure n° 5). Ce ressenti est variable en fonction du territoire considéré mais surtout entre les différentes productions agricoles (les grandes cultures non irriguées et l'élevage bovin étant par exemple considérés comme les deux orientations de production les plus touchées).

Figure n° 5



Source : Enquête APCA-CEP.

Sur le terrain, les évolutions décrites par les climatologues ne sont toutefois pas perçues en tant que telles. Plutôt que des changements de long terme, ce sont davantage des dérèglements ponctuels ou l'accroissement de la variabilité du climat qui sont les plus ressentis : augmentation de l'amplitude et de la fréquence des aléas climatiques, précipitations et rendements des cultures annuelles et des prairies de plus en plus variables, etc. Quelques tendances sont toutefois relevées : baisse des niveaux des rivières et des nappes phréatiques, régression de l'humidité des sols, augmentation de l'évapotranspiration et des besoins d'irrigation, apparition de nouveaux bio-agresseurs ou modification de leur cycle de reproduction.

D'après leurs conseillers, les agriculteurs perçoivent également des effets sur leur exploitation, qui diffèrent selon les territoires et les productions. Les plus fréquemment cités sont :

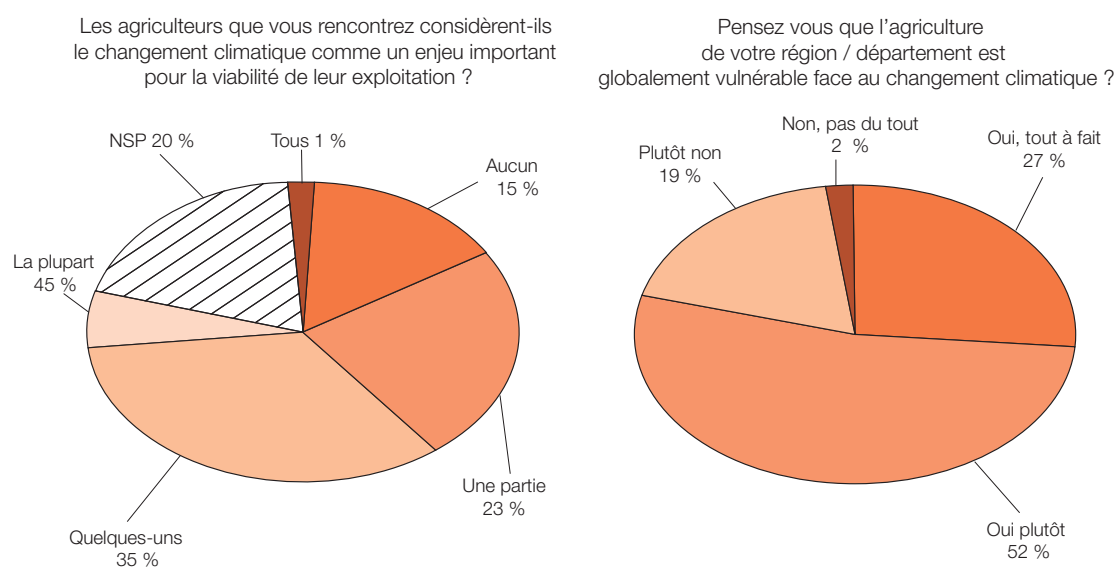
- en cultures annuelles, des sols plus secs au printemps que par le passé, des cycles culturaux plus courts, des rendements et une qualité des récoltes plus aléatoires ;
- en élevage, une diminution du stock annuel de foin ou de paille, une gestion de l'alimentation en fourrages plus délicate et une baisse des rendements en foin ;
- en cultures pérennes, un décalage des stades phénologiques et une avancée des périodes de récolte.

Ces observations détaillées témoignent d'une capacité, chez les agriculteurs, à percevoir finement les effets du climat sur leur activité. Cela contraste d'ailleurs avec les avis incertains exprimés face au changement

climatique dans son ensemble. Mais il n’y a à finalement aucun paradoxe : si la compréhension générale du phénomène soulève des incertitudes, la perception des effets bien réels du climat est fortement ancrée dans une profession qui, plus que tout autre, en dépend directement. Naturellement, cette perception est soumise à de nombreux biais. Elle est ainsi liée à chaque individu, aux variations météorologiques intra et interannuelles, aux spécificités locales et même à la conjoncture économique. Il est souvent difficile pour les enquêtés de dater précisément les évolutions qu’ils perçoivent et surtout d’établir un lien plus ou moins direct avec le changement climatique. Cette perception « à éclipse » est d’ailleurs jugée comme une « faiblesse du monde agricole¹³ » pour l’adaptation au changement climatique.

Une fois abordées les notions de compréhension et de perception du changement climatique, se pose la question de l’intégration de ce facteur dans la gestion de l’exploitation par des actions d’adaptation. Les menaces ou les opportunités induites constituent de fait les premières incitations à s’adapter. Ce signal est fort pour les conseillers, dont 80% considèrent que l’agriculture de leur région est vulnérable face au changement climatique (cf. figure n° 6). Plusieurs élus conditionnent cette vulnérabilité aux contraintes pédoclimatiques et aux possibilités d’irrigation.

Figure n° 6

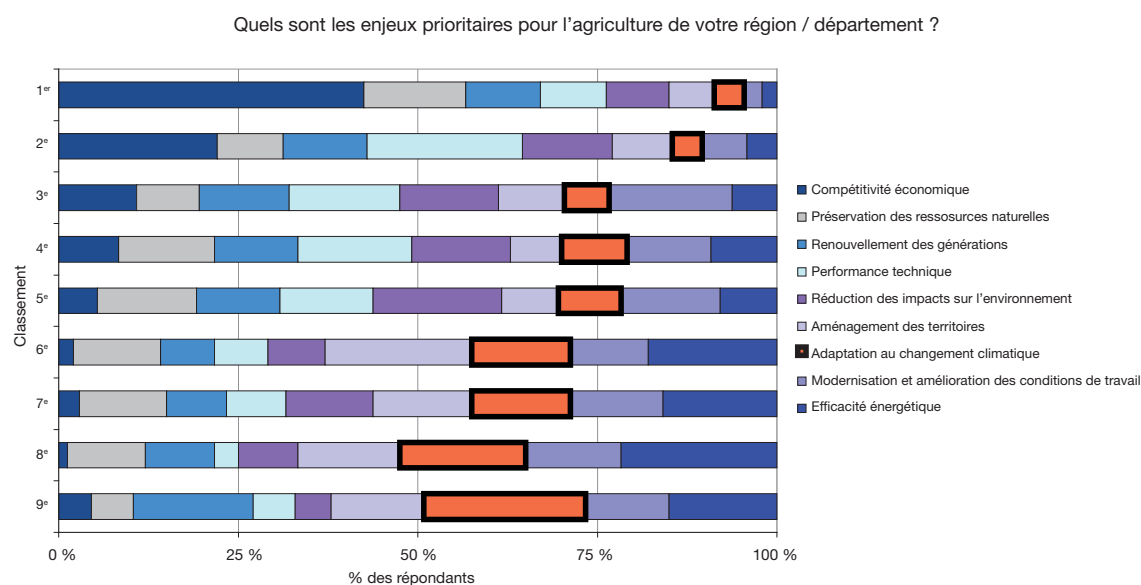


Source : Enquête APCA-CEP.

Quant aux agriculteurs, leur perception, vue par les conseillers, est plus incertaine : ils seraient nombreux à ne pas considérer le changement climatique comme un enjeu important pour la viabilité de leur exploitation. En effet, derrière ce jugement, se pose directement la question des enjeux prioritaires pour le pilotage des exploitations agricoles. L’adaptation au changement climatique n’en fait pas partie alors que l’amélioration de la compétitivité économique est placée largement en tête (cf. figure n° 7).

13. Propos tirés des entretiens.

Figure n° 7



Source : Enquête APCA-CEP.

Bien que la volonté de s'adapter au changement climatique n'en constitue pas nécessairement le moteur principal, les élus considèrent qu'un certain nombre d'évolutions déjà à l'œuvre vont dans le sens de l'adaptation : l'avancée des dates de semis, de récolte ou de mise à l'herbe, la mécanisation accrue permettant une réorganisation du travail pour exploiter au mieux les fenêtres météorologiques favorables, la diversification des cultures ou la mise en place de l'irrigation pour mieux gérer le risque climatique, etc. De nombreux essais sont aussi en cours sur le terrain, en lien avec les organismes de développement agricole, pour tester des stratégies d'adaptation : esquisser ou résister aux aléas climatiques, améliorer la résilience des systèmes de production, etc.

Toutefois, les changements de pratiques à l'œuvre relèvent plus d'une meilleure protection ou d'une optimisation des systèmes existants, que de stratégies de long terme nécessitant des modifications en profondeur de leur structure. Mais les évolutions tendanciennes du climat qui pourraient justifier ces changements plus profonds sont en partie masquées par la variabilité des conditions météorologiques annuelles et donc peu perçues. Qui plus est, les incertitudes sur l'ampleur du changement climatique à l'avenir ainsi que sur les conséquences économiques pour les exploitations restent des freins majeurs au déploiement d'actions d'adaptation de grande ampleur.

Cela n'empêche pas, cependant, d'envisager certaines pistes à développer pour renforcer les capacités d'adaptation des exploitations au climat futur. Celles mises en avant par les conseillers peuvent être rassemblées autour de trois types de leviers :

- des leviers techniques comme la diversification des assolements, l'agroforesterie, l'introduction de cultures et de variétés plus résistantes à la sécheresse ou à moindres besoins en eau, l'adoption de techniques de conservation des sols ;
- une gestion plus adaptée de la ressource en eau, notamment par le développement de techniques d'irrigation économes et d'outils d'aide à la décision et la construction d'ouvrages de stockage ;
- l'amélioration des systèmes d'information et de prévision portant à la fois sur les événements climatiques locaux et sur la surveillance des bio-agresseurs.

Les niveaux de changement requis pour la mise en œuvre de ces actions sont finalement très variables. Mais la majorité d'entre elles nécessite un minimum de coordination et d'action collective pour être efficaces. Ainsi, l'accompagnement des agriculteurs, la mobilisation des organismes de développement agricole et le renforcement des liens avec la recherche ressortent de l'enquête comme des impératifs pour les développer. À ce sujet, les conseillers des chambres interrogés ont par ailleurs témoigné de leurs besoins en formation, autant sur les aspects scientifiques et techniques du changement climatique que sur des méthodes d'accompagnement des agriculteurs.

Finalement, les résultats de cette enquête montrent une conscience bien réelle du changement climatique de la part des personnes interrogées. Si elle n'est pas nécessairement basée sur des faits scientifiques, elle repose davantage sur la perception développée des manifestations du climat. Et même si l'enjeu n'est pas encore jugé prioritaire, des actions contribuant, entre autres, à améliorer les capacités d'adaptation des exploitations commencent actuellement à être mises en œuvre.

Au sein du monde forestier

Les événements climatiques extrêmes ayant eu lieu ces dernières années (canicule, tempêtes) ont douloureusement contribué à renforcer la prise de conscience des enjeux du changement climatique dans le monde forestier. Après une première enquête en 2007, le CNPF a réalisé en 2010 un nouvel état des lieux de la perception du changement climatique par les forestiers. Cette enquête, menée dans le cadre du programme de recherche Dryade visait à répondre à trois objectifs principaux : 1) identifier les effets du changement climatique ressentis par les praticiens ; 2) recenser les actions mises en œuvre et les recommandations pour y faire face ; 3) mieux connaître, pour cet enjeu, les attentes des praticiens vis-à-vis de la recherche. L'enquête a interrogé soixante-sept personnes, principalement des ingénieurs et des techniciens des centres régionaux de la propriété forestière (CRPF) et des gestionnaires. Des informations provenant des documents régionaux d'orientation forestière et de divers organismes forestiers ont également été compilées.

La grande majorité des praticiens (85 %) constate déjà un impact du changement climatique sur les peuplements forestiers (cf. figure n° 8). Parmi les effets recensés, le phénomène de dépérissement est le plus cité. Vient ensuite l'invasion par les pathogènes et les chablis. On peut noter que certains de ces effets ne sont généralement liés que de manière incertaine au changement climatique en l'état actuel des connaissances. Un quart des personnes interrogées mentionne en outre la hausse de productivité comme un effet positif.

Malgré cette conscience de la réalité du changement climatique, la menace qu'il représente est jugée globalement « peu alarmante ». La diversité des opinions est cependant assez grande, allant de personnes « très préoccupées » souhaitant d'ores et déjà « anticiper » et d'autres ne voyant pas de réelle menace à court et moyen termes (cf. figure n° 9).

Figure n° 8

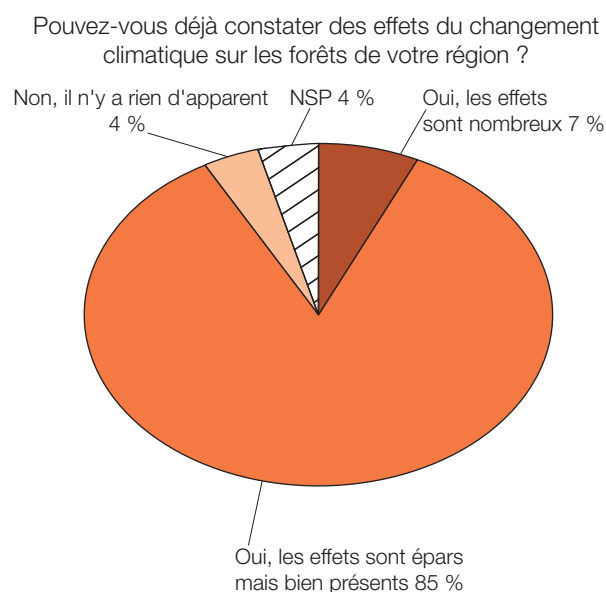
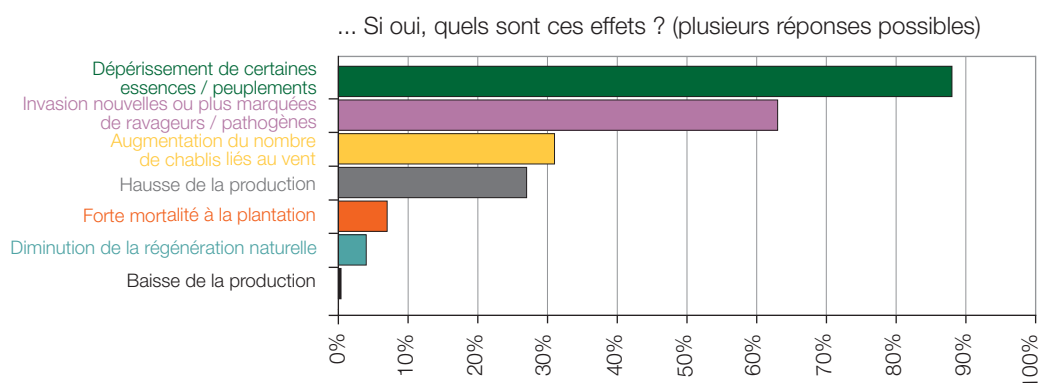
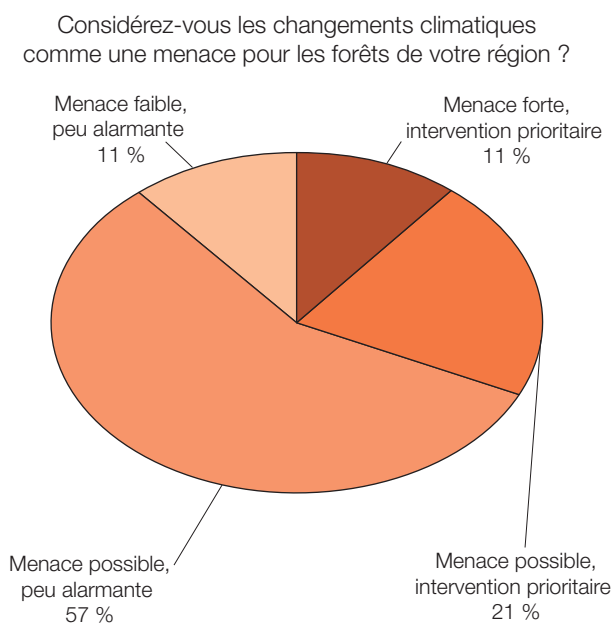


Figure n° 8, suite



Source : Enquête CNPF.

Figure n° 9



Source : Enquête CNPF.

L'aléa jugé le plus menaçant est clairement celui des sécheresses estivales. Il est important de noter que cette perception de la vulnérabilité est fortement liée à la zone géographique considérée et surtout à l'historique des événements climatiques passés. Ainsi, l'augmentation du nombre et de l'intensité des tempêtes est fréquemment considérée comme l'aléa majeur en Aquitaine.

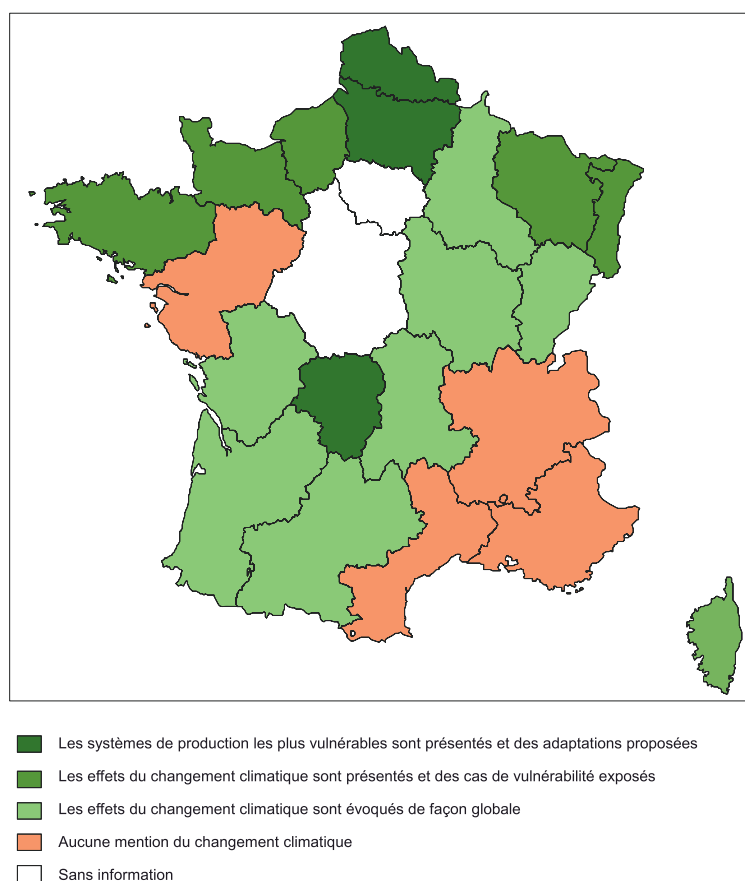
Enfin, les niveaux d'exposition à l'aléa diffèrent selon les essences. Au-delà des faiblesses intrinsèques à chaque espèce face au climat, c'est aussi son importance économique dans l'économie locale qui détermine fortement sa vulnérabilité aux yeux des forestiers. Ainsi, bien que pouvant pâtir du climat futur, les essences non productives en PACA ne soulèvent pas de préoccupations particulières. Ailleurs, les résineux de plaine, dont le Douglas, sont en tête des préoccupations. Le hêtre et le chêne pédonculé sont les feuillus les plus mentionnés pour leur vulnérabilité.

Trente-quatre projets de développement forestiers en lien avec le changement climatique ont été recensés sur tout le territoire (non exhaustif). Ils sont portés par des programmes européens, régionaux ou inter-régionaux. La majorité d'entre eux s'attache à estimer les impacts et la vulnérabilité des forêts mais peu traitent de recommandations pratiques d'adaptation. Toutefois, un certain nombre de propriétaires,

principalement dans le quart Sud-Ouest, se mobilisent au travers de travaux dédiés au changement climatique, dans le cadre des Centre d'études techniques et économiques forestières (CETEF). Des essais de plantation de nouvelles essences ont également lieu dans de nombreuses régions sous l'égide des CRPF. Parmi eux, 156 concernent le changement climatique.

L'intégration du changement climatique à la gestion des peuplements commence à se développer. Les personnels des CRPF proposent par exemple aux propriétaires des stratégies « sans regrets », c'est-à-dire considérées comme gagnantes sur les plans climatique, technique et économique. Certains gestionnaires font valoir des méthodes sylvicoles adoptées déjà depuis plusieurs décennies permettant d'avoir un peuplement plus résilient face aux variations du climat. L'adaptation est en revanche très peu présente dans les plans de gestion. Les schémas régionaux de gestion sylvicole (SRGS) la prennent en compte, mais de façon très contrastée. Absentes dans le Sud-Est, les mentions du changement climatique relèvent ailleurs plus de l'information que de recommandations concrètes, principalement à cause des fortes incertitudes qui demeurent et qui peuvent expliquer les difficultés à aller jusqu'à un niveau opérationnel (cf. figure n° 10).

Figure n° 10. **Prise en compte du changement climatique dans les SRGS**



Source : Enquête CNPF.

Parmi les recommandations de gestion pour faire face au changement climatique recensées au niveau national, auprès des organismes de gestion forestière (Société forestière, Office national des forêts - ONF), des associations de professionnels (PROSILVA) et environnementales (France Nature Environnement), certaines sont mises en avant de façon consensuelle :

- favoriser la régénération naturelle, utilisant la diversité génétique présente ;
- favoriser le mélange des essences ;
- renforcer les diagnostics stationnels ;
- éviter le tassement des sols.

Les avis sont plus partagés quant au remplacement d'essences vulnérables par d'autres plus résistantes à la sécheresse. Tous les organismes consultés plaident en revanche pour des stratégies d'adaptation fines, construites en fonction du contexte local.

L'adaptation au changement climatique requiert de la part des forestiers un champ de connaissances de plus en plus large et approfondi. À cette fin, la coordination entre chercheurs et praticiens est jugée essentielle pour permettre l'émergence de travaux de recherche répondant aux besoins du terrain, dont les résultats pourront ensuite être mis en pratique. C'est à cette problématique que s'est intéressée la troisième partie de l'enquête. Elle révèle par exemple qu'ingénieurs et techniciens tirent leurs connaissances du changement climatique en majorité de revues professionnelles mais assez peu *via* des formations. Pour sensibiliser les propriétaires, l'information leur est ensuite diffusée lors de réunions de vulgarisation, organisées par quinze des dix-sept CRPF interrogés. Ces actions sont principalement assurées par les membres du réseau de correspondant sur le changement climatique, créé en 2006 au sein des CRPF.

Une certaine difficulté à mobiliser des résultats issus de travaux de recherche est cependant exprimée. Une majorité des personnes interrogées estime que les travaux scientifiques disponibles ne permettent pas de répondre à leurs questions prioritaires. Le manque de données régionalisées et le niveau d'incertitude des résultats produits sont les principaux facteurs permettant d'expliquer cette perplexité. Tous plaident pour plus d'éléments pratiques et opérationnels. Pour favoriser le transfert de la recherche vers les gestionnaires, le réseau mixte technologique (RMT) AFORCE a été créé en 2008. Une majorité des praticiens perçoit très positivement son action. Il a permis une bonne diffusion de l'information sur les actions de recherche et développement en cours et une avancée des réflexions sur l'adaptation au changement climatique.

Les effets de cette sensibilisation au long cours se ressentent d'ailleurs dans les attentes exprimées par les enquêtés vis-à-vis de la recherche. Alors que ces attentes relevaient principalement en 2007 de l'information, les personnes interrogées font état en 2010 de questions beaucoup plus opérationnelles, concernant principalement le diagnostic du peuplement et les méthodes de sylviculture, l'autoécologie¹⁴ des essences cultivées et l'évolution de la qualité de la production, l'identification et la cartographie des stations « à risque » ou encore le diagnostic de l'économie en eau des sols.

À la lumière de cette étude, il semble donc que le changement climatique est un phénomène bien perçu par les praticiens de la forêt mais qui constitue pour l'instant une préoccupation de niveau variable selon les régions et les essences. L'enjeu de l'adaptation fait de plus en plus l'objet de diffusion d'information au sein de la profession et il est progressivement pris en compte dans les orientations forestières et les recommandations de gestion. Si des actions d'expérimentation et de développement pour les mettre en pratique sont en cours, leur intégration effective à la gestion forestière actuelle demeure faible. Des données régionalisées et plus fiables manquent pour le permettre et c'est pour pallier cette carence que la plupart des attentes des enquêtés vers la recherche concernent des stratégies et des recommandations opérationnelles.

1.3. LA PROSPECTIVE AFCLIM : UNE DÉMARCHE INNOVANTE ET COLLECTIVE

La prospective AFCLim vise à donner à voir de manière concrète les principaux effets positifs ou négatifs du changement climatique sur l'agriculture et la forêt en France métropolitaine, à réfléchir aux stratégies d'adaptation possibles et à sensibiliser l'ensemble des acteurs concernés. Pour cela, le groupe de travail, composé d'une vingtaine de personnes d'origines et de sensibilités variées (ministères concernés, recherche, instituts techniques, monde agricole, société civile, etc.) s'est réuni chaque mois pendant un an (voir la composition du groupe dans l'encadré n° 2 et le calendrier de travail en annexe 1) La démarche adoptée a consisté à partir du singulier et du local pour monter ensuite en généralité au niveau national.

¹⁴. Science qui étudie l'ensemble des relations d'une espèce vivante avec son milieu, délimite les conditions qui permettent la survie de l'espèce, sa reproduction, etc.

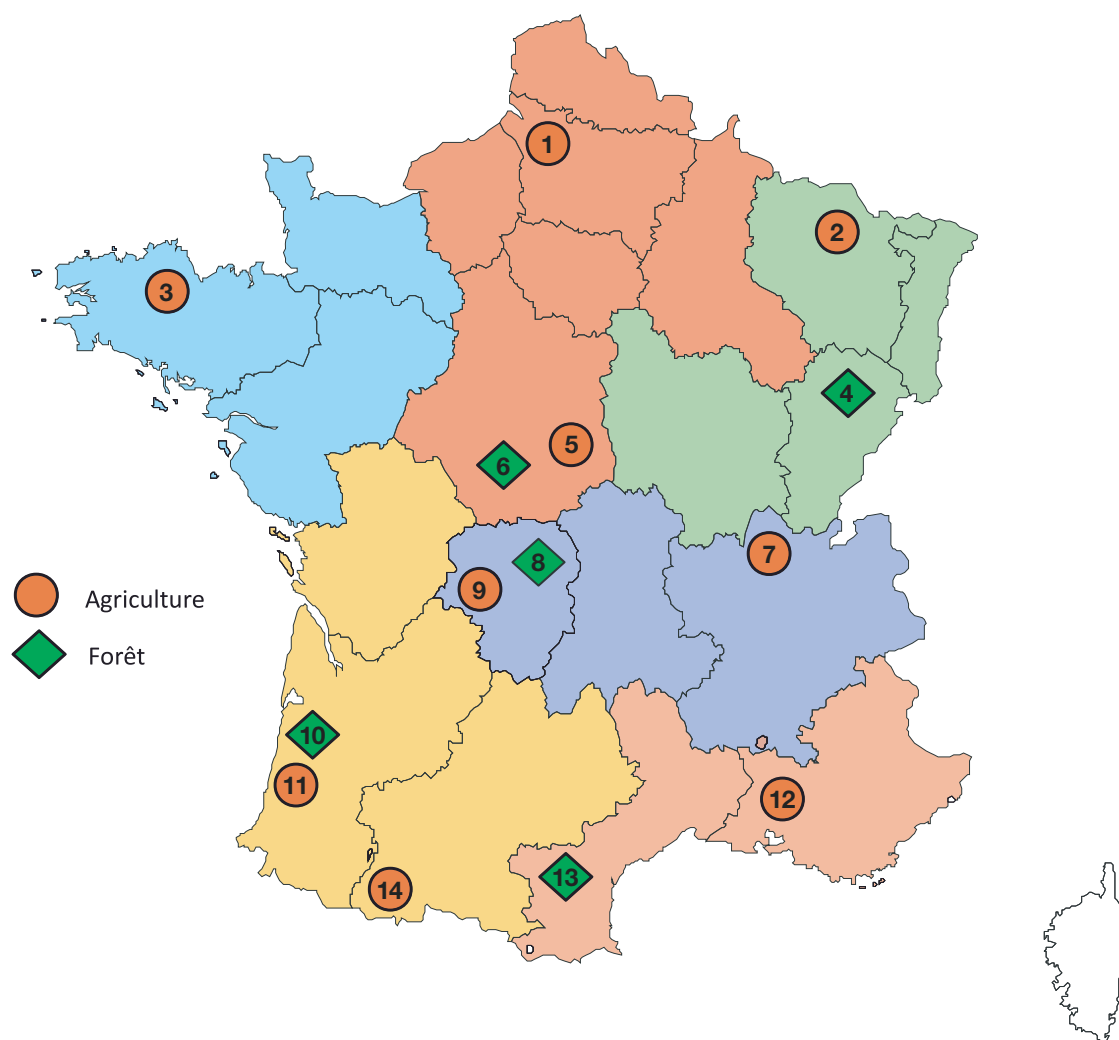
Encadré n° 2

LISTE DES MEMBRES DU GROUPE AFCLIM

- **Sylvie Alexandre** (ministère chargé de l'Agriculture – CGAAER)
- **Nathalie Bréda** (INRA de Nancy)
- **Emmanuel Cloppet** (Météo-France)
- **Jean-François Dhôte** (ONF)
- **Sylvain Doublet** (Solagro)
- **Éric Duchêne** (INRA)
- **David Gouache** (Arvalis – Institut du végétal)
- **Bernard Itier** (INRA)
- **Xavier de Lacaze** (ministère chargé de l'Écologie – DGALN)
- **Frédéric Levraut** (chambre d'agriculture de Poitou-Charentes)
- **Maryline Loquet** (ministère chargé de l'Agriculture – DGPAAT)
- **Chantal Loyce** (AgroParistech)
- **Nicolas de Menthière** (IRSTEA)
- **Philippe Mérot** (INRA)
- **Jean-Christophe Moreau et André Le Gall** (Institut de l'élevage)
- **Élisabeth Le Net** (FCBA)
- **Denis Ollivier** (TRAME)
- **Laure Pedoussaut** (Coop de France)
- **Max Penneroux et Ceydric Sédilot-Gasmi** (Société forestière)
- **Céline Perrier, Olivier Picard, Philippe Riou-Nivert et Anne-Sophie Sergent** (Institut du développement forestier)
- **Jean-Luc Peyron** (GIP ECOFOR)
- **Lætitia Poffet** (ministère chargé de l'Agriculture – DGPAAT)
- **Antoine Poupart** (INVIVO)
- **Bertrand Reysset** (ministère chargé de l'Écologie – ONERC)
- **Yves Riou** (ministère chargé de l'Agriculture – CGAAER)
- **Philippe Touchais** (Assemblée permanente des chambres d'agriculture)
- **Audrey Trévisiol** (ADEME)
- **Diane Vandaele** (Réseau Action Climat)
- **Véronique Van Tilbeurg** (université de Rennes 2)
- **Antonin Vergez** (ministère chargé de l'Écologie – CGDD)
- **Didier Vernhes** (Fédération française des sociétés d'assurance)

Nous avons ainsi souhaité nous pencher dans un premier temps sur des études de cas localisées (cf. figure n° 11) afin de tenir compte non seulement des changements du climat local mais aussi des caractéristiques techniques et environnementales qui joueront dans l'adaptation des systèmes de production.

Figure n° 11. Carte des quatorze études de cas



Les couleurs correspondent au découpage de la France en grandes zones géoclimatiques réalisé dans l'étude Climator sur la base de la similitude des climats locaux et des limites administratives.

Les études de cas (du nord au sud) :

- | | |
|--|---|
| 1. Cultures industrielles dans la Somme | 8. Forêt de douglas en Limousin |
| 2. Polyculture-élevage dans la Meuse | 9. Bovin allaitant dans la Creuse |
| 3. Bovin lait dans les Côtes d'Armor | 10. Pin maritime dans les Landes |
| 4. Forêt irrégulière de hêtre en Haute-Saône | 11. Maïs irrigué dans les Landes |
| 5. Grandes cultures dans le Cher | 12. Arboriculture dans le Vaucluse |
| 6. Chênaie du bassin de la Loire | 13. Sapinière en moyenne montagne méditerranéenne |
| 7. Viticulture dans le Beaujolais | 14. Ovin viande dans les Hautes-Pyrénées |

Le groupe a ainsi sélectionné quatorze études de cas dans les secteurs agricoles et forestiers, puis a effectué une étude approfondie des cas choisis, en trois étapes : 1) diagnostic de l'exploitation agricole ou de l'unité de gestion forestière, ainsi que de son environnement proche ; 2) modélisation et description des effets probables du changement climatique et ; 3) formulation d'hypothèses prospectives sur les actions d'adaptation envisageables. Cette méthode d'analyse est détaillée dans le chapitre 2 puis les quatorze études de cas sont présentées sous forme de fiches.

Mais l'adaptation au changement climatique n'est pas seulement une affaire de technique : elle mobilise aussi des facteurs sociaux, économiques, culturels et humains. Pour prendre en compte les différents moteurs et freins à l'adaptation, une seconde phase du travail a consisté à élaborer des scénarios de contexte socio-économique et à les confronter aux hypothèses d'adaptation formulées dans chaque étude de cas. Ce travail sera détaillé dans le chapitre 3.

CONCLUSION DE LA PREMIÈRE PARTIE

Le changement climatique a d'ores et déjà des effets perceptibles sur les productions agricoles et forestières. Ces effets vont s'amplifier dans le futur et auront des conséquences négatives importantes pour l'agriculture et la forêt, en l'absence d'actions d'adaptation efficaces. Pour autant, le changement climatique reste un enjeu difficile à appréhender pour les acteurs concernés et peu intégré aux stratégies de gestion des exploitations agricoles et des forêts. La prospective AFCLim a donc recours à une démarche originale, basée sur des études de cas, pour donner à voir les conséquences concrètes du changement climatique et imaginer les actions d'adaptation possibles.

2.

ÉTUDES DE CAS PROSPECTIVES

2.1. Méthodologie

- Construction et analyse des études de cas
- Les simulations agroclimatiques mobilisées
- Guide de lecture des fiches agricoles
- Guide de lecture des fiches forêt

2.2. Les quatorze études de cas

- Cultures industrielles dans la Somme
- Polyculture-élevage dans la Meuse
- Bovin lait dans les Côtes-d'Armor
- Forêt irrégulière de hêtre en Haute-Saône
- Grandes cultures dans le Cher
- Chênaie du bassin de la Loire
- Viticulture dans le Beaujolais
- Forêt de douglas en Limousin
- Bovin allaitant dans la Creuse
- Pin maritime dans les Landes
- Maïs irrigué dans les Landes
- Arboriculture dans le Vaucluse
- Sapinière en moyenne montagne méditerranéenne
- Ovin viande dans les Hautes-Pyrénées

2.

ÉTUDES DE CAS PROSPECTIVES

Les impacts du changement climatique sur les productions agricoles et sylvicoles résulteront à la fois de la modification des facteurs climatiques locaux et de la vulnérabilité des systèmes de production. Pour donner à voir les conséquences concrètes du changement climatique et imaginer des options d'adaptation possibles, nous avons pris le parti de procéder à des études de cas. Quatorze situations concrètes sont ainsi analysées dans ce chapitre sous forme de fiches (section 2.2). Elles sont précédées d'une présentation détaillée de la méthodologie employée et d'un guide de lecture (section 2.1).

2.1. MÉTHODOLOGIE

Nous commençons par détailler la démarche retenue, en explicitant la construction des études de cas et les simulations climatiques mobilisées puis en fournissant un guide de lecture des fiches d'études de cas présentées dans la section suivante.

Construction et analyse des études de cas

Ni échantillons statistiques ni figures abstraites, les études de cas construites et utilisées dans la prospective AFClim sont un outil permettant de représenter le fonctionnement de systèmes de production et d'étudier des transformations sur ces systèmes à partir de données techniques solides. Elles sont basées sur des cas-types, choisis pour leur diversité et leur intérêt vis-à-vis de la problématique de l'adaptation au changement climatique. Cette approche, qui a appelé des échanges nourris au sein du groupe de travail, est forcément non exhaustive et non représentative car les études de cas ne sont pas un échantillon statistiquement construit de l'ensemble des exploitations de la « ferme France » ni de la forêt française. En revanche, elle a l'avantage de faire porter l'analyse sur des paramètres techniques cohérents et avec une approche systémique. Elle permet également de représenter les effets du changement climatique à venir sur des bases précises et d'en donner une image concrète. Enfin, l'échelle des systèmes d'exploitation et de gestion, plus proche des problématiques des chefs d'exploitation et des gestionnaires forestiers, est susceptible de faciliter l'appropriation des enjeux par les acteurs de terrain.

Chaque étude de cas agricole est un ensemble de données quantitatives et qualitatives renseignant sur le fonctionnement d'une exploitation agricole « archétypique », c'est-à-dire fictive et non représentative statistiquement, mais cohérente et réaliste.

Le groupe AFClim a esquissé neuf systèmes d'exploitation qu'il souhaitait étudier en précisant leurs grandes caractéristiques, principalement en matière de spécialisation, de localisation, et de taille. Quatre critères ont guidé ce choix :

- la diversité des régions pédoclimatiques en 2011 ;
- la diversité des contraintes climatiques futures (pour étudier des cas dans lesquels l'évolution future du climat aura des conséquences variées) ;
- la diversité des productions agricoles (végétales et animales) ;
- la diversité des structures de production.

Après avoir choisi neuf systèmes d'exploitation, les cas-types correspondant ont été sélectionnés avec les chambres d'agriculture et l'Institut de l'élevage. Un cas-type est une figure stylisée, une manière de représenter le fonctionnement d'une exploitation archétypique en tenant compte de différentes composantes du système de production (à l'inverse d'une approche par atelier par exemple) : les caractéristiques de l'exploitation (surface, main-d'œuvre, matériel, bâtiments, etc.), du système de production (temps de travail, rotations, fertilisation, cheptel, système fourrager, etc.), les résultats économiques (charges opérationnelles, charges de structure, produits, subventions, etc.). Il ne s'agit pas de données directement attribuables à une exploitation réelle, mais de modèles, issus de typologies élaborées à dire d'experts. Ces cas-types visent à représenter la diversité des exploitations régionales et à mettre en avant les systèmes pertinents au regard de différents critères (leurs poids en nombre d'exploitations ou en production, les performances techniques ou économiques, l'intérêt environnemental ou territorial, etc.). Les cas-types ne correspondent pas aux critères de représentativité requis dans les approches statistiques et sont rassemblés dans des réseaux nationaux pilotés par l'APCA et l'Institut de l'élevage.

Chaque étude de cas a donné lieu à une fiche synthétique. Nous décrivons brièvement ci-dessous le contenu des fiches agricoles. Elles sont organisées en trois parties correspondant aux trois étapes de l'analyse. Le détail des rubriques et du mode d'obtention des données est décrit plus bas.

Contrairement au volet agricole, il n'existe pas pour les forêts de cas-types définis selon une typologie préétablie. Le groupe AFClim a donc déterminé cinq situations à étudier, à partir des critères de choix suivants :

- le type de propriété (forêt privée de petite ou grande taille, forêt domaniale, forêt communale) ;
- les objectifs sylvicoles (production, protection, accueil du public, etc.) ;
- les essences considérées ;
- les impacts attendus du changement climatique ;
- la répartition entre grandes régions écologiques (au sens de l'Inventaire forestier national).

Ces cinq situations n'avaient évidemment pas pour objectif d'être exhaustives ni statistiquement représentatives de la forêt française. Pour chaque étude de cas, une forêt répondant aux critères établis par le groupe AFClim (localisation, type de propriété, usage, etc.) a été sélectionnée avec l'appui des antennes régionales de l'ONF et les CRPF, selon des critères de disponibilité des données et en cherchant à éviter les situations trop particulières ou marginales.

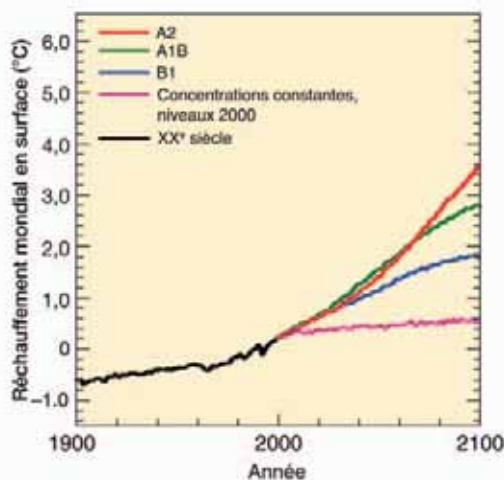
De même que précédemment, chaque étude de cas a donné lieu à une fiche synthétique dont le contenu est détaillé plus bas.

Le diagnostic de l'exploitation agricole ou de l'unité de gestion forestière a été réalisé à dire d'experts sur la base de cas-types fictifs ou de situations réelles anonymisées. Pour les études de cas agricoles, les cas-types du réseau Inosys¹ des chambres d'agriculture et des réseaux d'élevage (portés par l'Institut de l'élevage et les chambres d'agriculture) ont été mobilisés. Pour la forêt, des données réelles anonymisées ont été utilisées. Dans les deux cas, les experts ont analysé les atouts et contraintes techniques et économiques du système de production, afin de donner une idée des vulnérabilités et/ou des marges de manœuvre possibles face à de nouvelles conditions climatiques. Lors de cette première phase, les principaux éléments pédoclimatiques et environnementaux caractérisant le cas étudié ont également été renseignés.

1. Pour plus d'informations : <http://www.chambres-agriculture.fr/grands-contextes/cles-de-lagriculture/economie/references-systemes/>

Encadré n° 3

LES SCÉNARIOS DU GIEC



Moyennes globales multi-modèles du réchauffement (en °C) en surface (relatif à 1980-1999) pour les scénarios A2, A1B et B1.

Source : Solomon *et al.*, 2007 (GIEC).

Les projections climatiques futures dont nous disposons sont obtenues à partir d'hypothèses sur les concentrations atmosphériques de GES à un horizon temporel donné. Pour obtenir ces projections, il faut donc d'abord formuler des hypothèses d'émissions de GES, qui servent d'entrées pour les modèles climatiques. Dans son rapport spécial sur les scénarios d'émissions (RSSE ou SRES en anglais), le GIEC a élaboré en 2000 et réactualisé en 2007 plusieurs scénarios d'émissions, qui font aujourd'hui référence dans les travaux sur l'évolution du climat. Ils présentent une large palette d'émissions et sont regroupés en quatre familles (A1, A2, B1 et B2) basées sur quatre canevas narratifs socio-économiques contrastés. Ces scénarios sont construits pour couvrir un large éventail des forces motrices que sont notamment la croissance démographique, le développement socio-économique et l'évolution technologique.

- **A1.** Le canevas A1 décrit un monde caractérisé par une croissance économique très rapide, un pic de la population mondiale au milieu du XXI^e siècle (qui déclinera ensuite) et l'introduction rapide de nouvelles technologies plus efficaces. La famille de scénarios A1 se scinde en trois groupes en fonction de l'évolution technologique dans le système énergétique : forte intensité de combustibles fossiles (A1FI), sources d'énergie autres que fossiles (A1T) et équilibre entre les sources (A1B) (au sens où l'on ne s'appuie pas excessivement sur une source d'énergie particulière).
- **A2.** Le canevas A2 décrit un monde très hétérogène, contrairement à A1, et caractérisé par une croissance démographique continue et soutenue, un développement économique faible (principalement régional) et de lents progrès technologiques. Ce scénario est le plus pessimiste en termes d'évolution des émissions de GES (croissance continue).
- **B1.** Le canevas B1 décrit un monde convergent avec un pic de population mondiale au milieu du siècle (comme A1) mais avec des changements rapides dans les modèles de développement, vers une économie

de services et d'information, avec introduction de technologies propres et utilisant les ressources de manière plus efficace. Il s'agit du scénario le plus optimiste concernant les émissions de GES.

- **B2.** Le canevas B2 décrit un monde caractérisé par des niveaux intermédiaires de croissances démographique et économique, privilégiant l'action locale et régionale pour assurer une viabilité économique, sociale et environnementale. L'évolution technologique y est toutefois plus lente que dans les scénarios A1 et B1.

Seules les politiques climatiques actuelles sont prises en considération dans tous ces scénarios : ils n'incluent pas d'initiatives climatiques supplémentaires au-delà de l'application actuelle de la convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques et des objectifs du protocole de Kyoto pour les émissions.

Les observations sur la décennie 2000-2010 ont montré que les émissions actuelles sont plus élevées que le plus pessimiste des scénarios élaborés par le GIEC. En conséquence, une nouvelle génération de scénarios d'émissions, qui seront utilisés pour le cinquième rapport du GIEC (à paraître en 2013-2014), est en cours d'élaboration. Ces nouveaux scénarios sont divisés en quatre grandes familles définies non pas par des hypothèses socio-économiques, mais par des concentrations atmosphériques en GES (scénarios *representative concentration pathways* - RCP). Puis, des scénarios socio-économiques pouvant générer de telles concentrations seront élaborés (*shared socioeconomic pathways* - SSP) par une communauté scientifique élargie (climatologues, économistes, etc.). La combinaison des RCP et SSP permettra d'évaluer différentes politiques climatiques ainsi que les conséquences du changement climatique, afin de chiffrer le coût économique et le gain en termes d'émissions. Les principales différences par rapport aux scénarios actuels tiennent d'une part à la méthode et d'autre part à l'abandon de certaines hypothèses jugées trop optimistes. Cette approche permet par ailleurs de procéder à des modélisations climatiques indépendantes des discussions sur les trajectoires socio-économiques qui les génèrent.

Pour étudier les effets du changement climatique sur les différents systèmes de production agricoles et forestiers considérés, le groupe AFClim a bénéficié de l'expertise de la division d'agrométéorologie de Météo-France et de la fourniture de projections climatiques détaillées (voir section 2). Nous avons ainsi pu comparer, pour un certain nombre d'indicateurs météorologiques et agroclimatiques clés, les valeurs passées (à partir de données observées) et les valeurs futures (à partir des projections du modèle climatique Arpege). Ces données chiffrées ont été systématiquement calculées en moyenne sur des périodes de trente ans. Pour les cas agricoles, des indicateurs d'état hydrique des cultures ont été calculés à partir de la réserve utile (RU) du sol et du calcul de l'évapotranspiration. Pour les cas forestiers, l'évolution de la teneur en eau des sols, de l'intensité des sécheresses édaphiques et du risque d'incendie a été caractérisée. Afin de limiter la complexité du travail, le choix a été fait de ne mobiliser qu'un seul modèle climatique (la version 4 du modèle climatique global Arpege de Météo-France), un seul scénario d'émissions de gaz à effet de serre (le scénario A1B du GIEC, cf. encadré n° 3) et une seule méthode de régionalisation (dite « quantile-quantile »).

Ne retenir qu'un seul modèle climatique et un seul scénario d'émissions de GES constitue une simplification forte et une limite significative pour les résultats de l'exercice, en particulier parce que cela conduit à une sous-estimation des facteurs d'incertitude qui entourent les projections climatiques. Ce choix est cependant cohérent avec notre objectif, qui n'était pas d'établir un panorama exhaustif des connaissances scientifiques sur l'évolution du climat mais bien de disposer d'éléments illustratifs et d'ordres de grandeur des effets du changement climatique à l'horizon du milieu du siècle. En outre, compte tenu des très fortes inerties du climat, il n'y a que peu de différences en termes d'effets du changement climatique entre les différents scénarios d'émission à un horizon relativement proche comme 2050 (les différences très significatives entre les scénarios apparaissent à l'horizon de la fin du siècle).

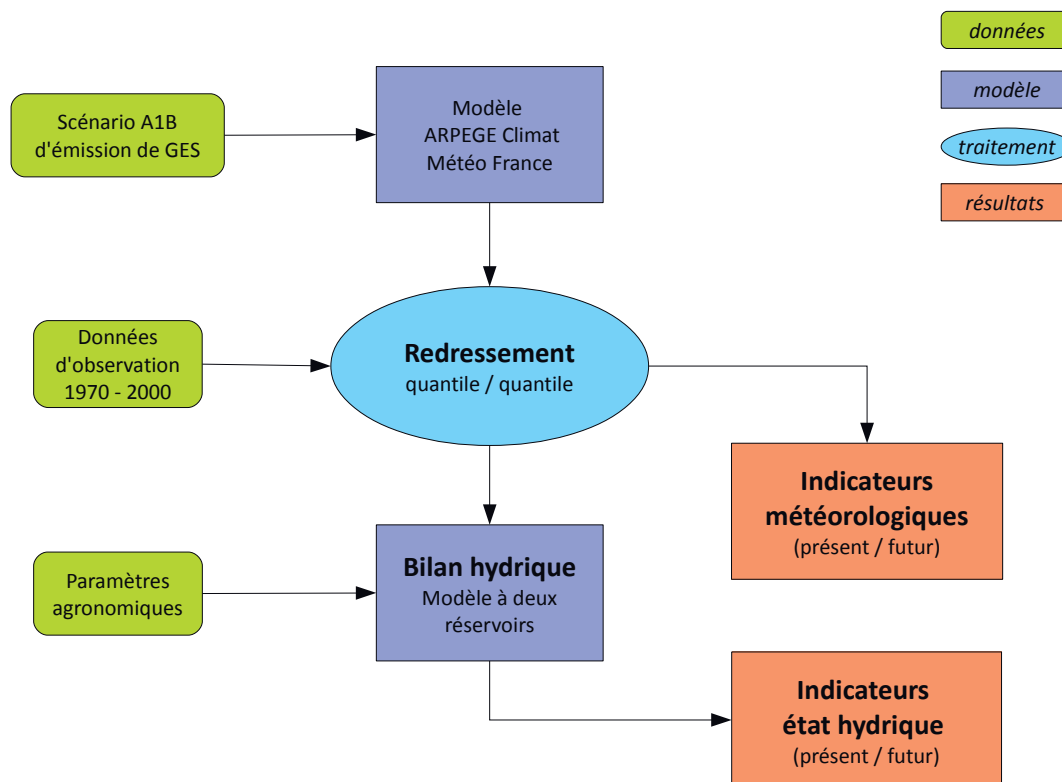
Le groupe d'experts a enfin formulé, pour chaque étude de cas, un certain nombre d'hypothèses d'adaptation des systèmes de production en réponse aux effets attendus du changement climatique. Les hypothèses illustrent des intensités d'action variables qui peuvent être dues soit au comportement de l'agriculteur ou du propriétaire forestier (en fonction de sa perception du changement climatique et de son aversion aux risques), soit à des effets du changement climatique plus ou moins marqués. Elles se veulent donc volontairement très larges, en envisageant aussi bien un maintien du système que des ruptures importantes dans les objectifs de production ou les usages des sols.

Chaque étude de cas a fait l'objet d'une fiche (voir au 2.2.) rédigée conjointement par un ou plusieurs membres du groupe et l'équipe projet du CEP, avec l'appui du bureau d'études Solagro et la contribution d'experts extérieurs.

Les simulations agroclimatiques mobilisées

Pour analyser l'effet du changement climatique sur les systèmes de production, nous avons eu recours à des données fournies par Météo-France : données observées pour la période passée et simulations climatiques (*via* le modèle Arpege Climat) pour la période future. Arpege Climat est un modèle de circulation générale, développé dans les années 1990, qui s'applique à des études sur les phénomènes climatiques régionaux, à la prévision saisonnière ainsi qu'aux scénarios de changement climatique globaux et régionaux. Les simulations climatiques ont été conduites avec les hypothèses d'émissions de gaz à effet de serre du scénario A1B du GIEC. Une fois les simulations réalisées à l'échelle planétaire aux horizons 2050 (pour les cas agricoles), 2035 et 2085 (pour les cas forestiers), les données du point de simulation le plus proche de la station d'intérêt sont récupérées pour chaque étude de cas puis « redressées » par la méthode de régionalisation dite « quantile-quantile ». Les mêmes calculs de moyennes sont ensuite appliqués aux données climatiques passées et futures pour obtenir des indicateurs climatiques. Pour les cas agricoles, des paramètres agronomiques fournis par les instituts techniques (Arvalis pour l'essentiel) ont de plus permis de réaliser un bilan hydrique et de produire des indicateurs de l'état hydrique du sol (cf. figure n° 12). Pour les cas forestiers, des indicateurs supplémentaires tels que la disponibilité en eau du sol, les risques de sécheresse édaphique et d'incendie ont également été mobilisés.

Figure n° 12. **Description de la démarche de modélisation agroclimatique utilisée dans AFClim pour les cas agricoles**



Source : auteurs.

Les indicateurs climatiques passés et futurs utilisés dans la prospective AFClim ont été construits à partir de statistiques mensuelles de données météorologiques, moyennées sur des périodes de trente années. Il s'agit en effet de la durée habituelle nécessaire pour caractériser le climat à partir de données météorologiques. La période de trente années s'étend de 1971 à 2000 pour le passé récent, et pour les projections futures, de 2036 à 2065 pour les cas agricoles, de 2021 à 2050 et de 2071 à 2100 pour les cas forestiers. Ces périodes ont été choisies en tenant compte de l'horizon de temps de la prospective AFClim (2050), des possibilités de mobiliser des résultats de projections climatiques ou d'études déjà publiées et des spécificités des secteurs étudiés (en particulier la nécessaire anticipation par les acteurs du monde forestier du climat de la fin du siècle pour renseigner leurs décisions de gestion et de renouvellement entre aujourd'hui et 2050).

Certains indicateurs climatiques, permettant d'évaluer les caractéristiques moyennes du climat, sont communs aux cas agricoles et forestiers : température moyenne, cumul mensuel de pluie, bilan hydrique climatique (c'est-à-dire la somme des précipitations moins l'évapotranspiration d'un couvert végétal standard) et fréquence des séquences de quinze jours sans pluie. Pour les cas agricoles, nous avons en plus utilisé les indicateurs climatiques suivants : nombre de jours échaudants pour les cultures (température dépassant 25°C), nombre de jours de gel, fréquence des séquences de cinq jours avec au moins 60 mm de pluie. Pour les cas forestiers, nous avons utilisé les indicateurs climatiques supplémentaires suivants : nombre de jours de gels (températures minimum inférieures à 0°C, - 5°C, - 10°C et - 20°C) et nombre de jours de canicule (températures maximum supérieures à 35°C).

La combinaison de ces indicateurs climatiques nous a permis à la fois d'étudier l'influence du climat futur sur la productivité potentielle des systèmes de production et d'estimer la fréquence de certains événements extrêmes (gelées, forte température, période sans pluies) pouvant entraîner des dégâts importants sur les cultures ou les arbres.

Encadré n° 4

INDICATEURS ET BILAN HYDRIQUES D'UN COUVERT VÉGÉTAL

■ L'évapotranspiration

La plante consomme de l'eau qu'elle prélève dans le sol et rejette sous forme de vapeur d'eau au travers de ses stomates (orifices sur la surface de la feuille). Ce phénomène permet l'absorption et le transport des éléments nutritifs, favorise la photosynthèse et assure le transport de la sève élaborée : il est donc au cœur de la croissance des végétaux.

On entend par évapotranspiration l'eau évaporée par le sol et transpirée par la plante. La quantité d'eau ainsi émise dépend :

- de la culture considérée ;
- de sa phase de développement (stade phénologique) ;
- du contenu en eau du sol, et ;
- des conditions météorologiques (température, rayonnement, vent, etc.).

Plusieurs notions se rapportant à l'évapotranspiration sont utilisées pour évaluer l'état hydrique d'un couvert végétal donné.

L'**évapotranspiration réelle (ETR)** désigne la quantité d'eau réellement émise par un couvert végétal. Elle est usuellement exprimée en mm sur une période donnée (jour, mois, etc.). Elle dépend directement des valeurs observées pour les paramètres cités précédemment. Elle peut-être mesurée de façon expérimentale sur la parcelle à l'aide d'un lysimètre ou calculée à l'aide de formules empiriques.

L'**évapotranspiration maximale (ETM)** désigne, pour un couvert végétal donné, la quantité d'eau émise dans le cas d'une alimentation hydrique optimale de la plante. L'eau n'est alors plus un facteur limitant au niveau de l'absorption racinaire, les stomates sont totalement ouverts et l'évapotranspiration est ainsi maximale. Sa valeur dépend donc de l'ensemble des paramètres cités précédemment, excepté le contenu en eau du sol.

L'**évapotranspiration potentielle (ETO)** est une valeur de référence. Il s'agit de l'ETM pour un couvert végétal bas et homogène, qui n'est soumis à aucune limitation en termes d'alimentation hydrique ou nutritionnelle. Il s'agit donc de l'évapotranspiration maximale d'un gazon en pleine croissance, fauché régulièrement. Sa valeur ne dépend que des conditions météorologiques, tous les autres paramètres étant fixés. L'ETO représente donc la « demande climatique » en eau quel que soit le type de couvert considéré.

L'évapotranspiration d'une culture varie au cours du cycle végétatif de la plante, elle dépend de l'état et de l'étendue de son système foliaire et racinaire, ainsi que de son stade de développement physiologique (croissance active, floraison, maturation). Pour rendre compte de ces variations, les agronomes ont définis et mesurés des **coefficients culturaux (k_c)**, propres à chaque culture, afin de déterminer l'ETM d'un couvert en fonction de la référence ETO. L'ETM se calcule selon la formule : $ETM = k_c \times ETO$. Ces coefficients culturaux dépendent du stade développement de la plante et varient donc au cours de l'année.

En conditions normales, les flux entrant et sortant d'eau dans la plante s'équilibrent. Mais lorsque les réserves dans le sol viennent à manquer et que la quantité d'eau transpirée devient supérieure à celle absorbée, la plante est en état de **stress hydrique**. La plante peut s'adapter dans une

certaine mesure à cette situation, notamment en diminuant l'évapotranspiration (ETR) par la fermeture de ses stomates.

Ainsi, la comparaison entre l'ETR et l'ETM renseigne sur le confort hydrique de la plante. On utilise pour cela indifféremment deux indicateurs : **le ratio ETR/ETM et la différence ETM - ETR**. Le premier illustre l'état hydrique relatif de la plante par rapport à son optimum et l'on cherche à le faire tendre vers 1. Le deuxième donne la quantité d'eau nécessaire pour atteindre l'optimum.

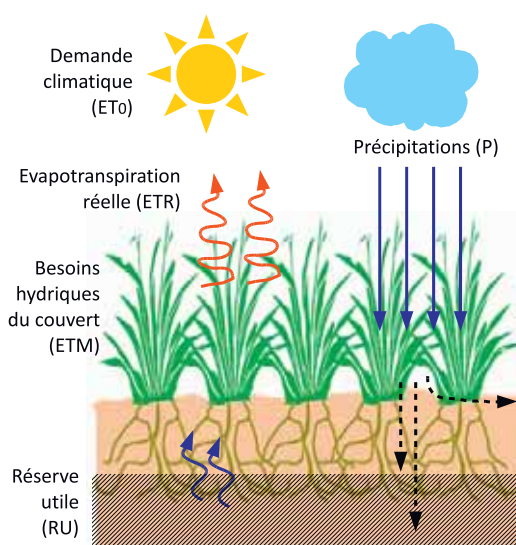


Schéma des flux hydriques au sein d'un couvert végétal

Source : auteurs.

■ La réserve utile et le bilan hydrique

Le sol possède la capacité de stocker l'eau et de la restituer aux plantes. Cette capacité dépend principalement de sa porosité et de sa perméabilité. Lorsque le sol est saturé, l'eau excédentaire, non retenue par les forces capillaires, est évacuée par drainage ou ruissellement. Ce volume maximal est appelé capacité au champ.

Les plantes puisent l'eau dans le sol jusqu'à ce que les forces de rétention capillaires soient plus importantes que les forces de succion racinaire, c'est le point de flétrissement.

La notion de RU qui désigne la quantité d'eau du sol disponible pour un couvert végétal est donc définie comme la différence entre la capacité au champ et le point de flétrissement. On distingue généralement la réserve facilement utilisable (RFU), superficielle, de la réserve de survie, plus profonde. La plante utilise d'abord la première puis la seconde lorsque l'eau vient à manquer.

Afin d'estimer les besoins en eau d'une culture, en particulier à des fins d'irrigation, on utilise la méthode du bilan hydrique. Il tient compte à la fois du volume d'eau présent dans le sol (RU), des besoins d'évapotranspiration du couvert (ETM) et des apports par les précipitations (P). Ainsi, à l'instant t : $RU_t = RU_{t-1} + P - ETM$. La méthode permet ainsi de calculer de période en période l'évolution de la RU.

En plus des indicateurs climatiques, les données agronomiques permettent le calcul d'indicateurs d'état hydrique du sol et de confort hydrique des cultures (voir encadré n° 4). Ils sont calculés à partir du remplissage de la RU du sol et de l'évapotranspiration. Les RU peuvent être de 50, 100, 150 ou 200 mm en fonction des caractéristiques du cas étudié. Le bilan est établi en supposant que le sol est constitué de deux réservoirs, l'un superficiel et l'autre profond. Le réservoir superficiel a pour capacité maximale 40% de la RU totale. Symétriquement, le réservoir profond a pour capacité maximale 60% de la RU totale et se vidange de façon proportionnelle au remplissage. L'évapotranspiration maximale (ETM), liée au couvert végétal considéré et à des paramètres de la station tels que le rayonnement, est retranchée de chacune de ces RU pour calculer l'évapotranspiration réelle (ETR) : c'est la quantité d'eau prélevée par les végétaux en croissance dans les RU superficielles et profondes. Par convention, les réserves hydriques sont supposées vides au 1^{er} août 1970 pour un bilan calculé ensuite en continu jusqu'à la fin de la période. Le remplissage des réservoirs est calculé sur une base quotidienne (moyennes journalières du 1^{er} avril au 31 août, calculées sur trente années).

Par ailleurs, l'élévation des températures conduira à une avancée des stades phénologiques des cultures qu'il est crucial de bien prendre en compte pour analyser les effets du changement climatique. C'est la raison pour laquelle nous avons étudié les stades phénologiques de certaines cultures pour les périodes passée et future. Il est important de noter que nous avons comparé ces stades phénologiques pour des dates de semis et des variétés identiques entre les périodes passée et future, et à itinéraire technique constant. Pour mieux comprendre les effets du changement climatique sur la production agricole, il est en effet important de mesurer dans un premier temps ces effets sans action d'adaptation. Les résultats ont permis, dans un deuxième temps, de déterminer des pistes d'adaptation technique (par exemple, une avancée des dates de semis pour esquiver un stress hydrique). Pour le maïs, sur la base des sommes des températures fournies par Météo-France, le nombre de jours nécessaires pour atteindre un stade phénologique et la date calendaire ont été simulés pour les deux périodes, 1971-2000 et 2036-2065. Les sommes de température ont été calculées par quinzaine de jours. Le nombre de degrés-jours nécessaire pour atteindre un stade a été fourni par Arvalis. Les stades phénologiques considérés sont le semis, la levée, le stade 10 feuilles, la floraison femelle et la récolte. Pour le blé, l'estimation de l'avancée des stades par les seules sommes de température a été jugée insuffisamment précise. Les résultats du projet Climator (Brisson et Levrault, 2010), basés sur des modèles agronomiques, ont donc été mobilisés sur la station la plus proche du cas étudié. Les stades considérés sont le semis, le stade épi 1 cm, le stade deux nœuds, la floraison et la récolte.

Les résultats sont présentés sous forme de frises chronologiques présent/futur. Ces éléments permettent de lire les graphiques sur le bilan hydrique et le confort hydrique des cultures, en repérant les périodes les plus sensibles de la croissance de la plante. Ils permettent également d'estimer qualitativement l'effet de compensation partielle du déficit hydrique estival accru dû à l'avancée des stades phénologiques. Il est donc crucial de lire conjointement les graphiques de bilan hydrique et les frises chronologiques des principaux stades phénologiques pour une interprétation correcte des projections proposées.

La disponibilité en eau des sols étant un des principaux facteurs climatiques affectant la croissance des arbres et la sécheresse édaphique étant un aléa climatique impliqué dans de nombreux dépérissements forestiers, il nous paraissait important de prendre en compte l'évolution de ces deux facteurs dans le cadre de la prospective AFClm. Pour cela, nous avons utilisé les simulations de la teneur en eau du sol évaluée dans le cadre du projet Climsec² avec un pas de temps journalier pour la période 1958-2100, sur l'ensemble du territoire français pour une maille de 8 x 8 km. Pour chaque cas forestier, les données quotidiennes de *soil water index* (SWI, soit indice de teneur en eau du sol), pour la période 1960-2100 et pour la maille incluant le cas étudié, ont été fournies par Météo-France.

À partir de ces données, il a été possible :

- d'illustrer l'évolution moyenne de la teneur journalière en eau des sols pour les trois périodes étudiées, permettant ainsi de rendre compte de l'évolution de la date de début, de la durée et de l'intensité de la sécheresse moyenne (nombre de jours où le SWI est inférieur à 0,5) ;
- d'illustrer la fréquence et la durée de la sécheresse intense qui pourraient potentiellement induire des dépérissements (nombre de jours où le SWI est inférieur à 0,25).

2. Site <http://www.cnrm-game-meteo.fr/spip.php?article605>

En effet, ne disposant pas d'information sur les seuils de SWI à partir desquels la croissance des arbres est affectée et des dépérissements peuvent être induits, en l'état actuel des connaissances scientifiques, la sécheresse moyenne a été définie par convention comme la période pendant laquelle l'indice de teneur en eau du sol est inférieur à 0,5 (soit 50% de la teneur maximum en eau du sol disponible pour les arbres) et la sécheresse intense comme la période pendant laquelle l'indice de teneur en eau du sol est inférieure à 0,25. Bien que ces seuils aient été fixés à dire d'experts, ils permettent de comparer les périodes futures au passé récent selon une référence fixe.

L'augmentation du risque d'incendie est également un effet indirect du changement climatique. Pour prendre en compte ce risque, nous nous sommes basés sur les données établies dans le cadre de la mission interministérielle sur les incendies de forêt (Chatry *et al.*, 2010), notamment l'indice forêt météo (IFM) et les cartes de sensibilité. L'IFM est un indicateur composite qui permet de quantifier quotidiennement la propension à l'éclosion et à la propagation initiale des feux de forêt, en fonction de seuls paramètres météorologiques indépendamment des essences. Il est indépendant des essences forestières présentes et se calcule à partir de six indices (teneur en eau du combustible léger, indice du combustible léger, indice de sécheresse, indice de propagation initiale, indice d'humus, indice de combustible disponible), eux-mêmes calculés à partir des précipitations, de la durée du jour, de l'humidité relative de l'air, de la température et de la vitesse du vent. Pour chaque cas forestier, Météo-France a fourni les données IFM de la maille correspondante pour les trois périodes et a calculé le nombre de jours par an où l'IFM dépasse les seuils de 20 et 40. Ces seuils correspondent à des risques croissants de départ et de propagation des feux. La probabilité de voir un incendie se déclarer devient non négligeable les jours à IFM supérieur à 20 et importante les jours à IFM supérieur à 40. Afin de compléter cette information basée uniquement sur des paramètres météorologiques, nous avons également utilisé les cartes de sensibilité, qui intègrent le couvert forestier présent à partir des données de l'Inventaire Forestier National, et qui prennent donc en compte la sensibilité au feu de chaque essence. Ces deux approches se complètent car la carte de sensibilité permet d'évaluer l'évolution du risque d'incendie lorsque la même essence est maintenue, alors que les valeurs d'IFM sont utiles pour évaluer le risque d'incendie en cas de remplacement de l'essence actuellement présente par des essences mieux adaptées au climat futur mais pouvant être plus sensibles au feu de forêt.

Guide de lecture des fiches agricoles

1. Diagnostic de l'exploitation et de son environnement proche

Il s'agit pour commencer d'analyser l'exploitation et son contexte local. Cette partie contient des éléments d'analyse qualitatifs et quantitatifs portant notamment sur :

- les caractéristiques de l'exploitation (surface agricole utile – SAU, surface fourragère principale – SFP, main-d'œuvre, matériel, bâtiments, etc.);
- le système de production (temps de travail, rotations, fertilisation, cheptel, système fourrager, etc.);
- les résultats économiques (charges opérationnelles, charges de structure, produits, subventions, etc.);
- son contexte local (petite région agricole, types de sol, potentiel agronomique, climat, ressource en eau, etc.).

■ Les caractéristiques techniques de l'exploitation

Les données sont pour la plupart issues des cas-types du réseau Inosys de l'APCA et des réseaux d'élevage (dispositif partenarial entre les chambres d'agriculture et l'Institut de l'élevage). Cette description sommaire de l'exploitation a pour objectif de donner au lecteur à la fois une vue technique d'ensemble de l'exploitation (SAU, rotations, troupeaux, fourrages, quotas, production, parc matériel et bâtiments) et un aperçu des atouts et contraintes actuels (bonne autonomie alimentaire, forte dépendance aux intrants, pointe de travail, etc.). Ces atouts/contraintes donnent une idée des marges de manœuvre pour s'adapter (entre autres) à de nouvelles conditions climatiques.

■ Les caractéristiques économiques de l'exploitation

Les données sont pour la plupart issues des mêmes sources que les éléments techniques (cas-types Inosys et réseaux d'élevage). Elles donnent une bonne vision des charges et des produits de l'exploitation. L'excédent brut d'exploitation (EBE) est également utilisé comme indicateur de synthèse de l'analyse économique. À l'instar des données techniques, les atouts et les faiblesses économiques sont soulignées (approche qualitative).

■ Le contexte local

Agriculture

L'objectif est de décrire le contexte agricole local à l'échelle départementale ou régionale, pour donner une image de la représentativité (spatiale, économique, sociale, etc.) de l'étude de cas sélectionnée par rapport aux autres formes d'agriculture présentes sur le même territoire. La plupart des informations proviennent des chambres d'agriculture régionales ou départementales. Si nécessaire, des informations générales ont été prises auprès des services de l'État (DRAAF et DREAL).

Agro-environnement et paysages

L'objectif de cette partie est de décrire (localement et de façon synthétique) les liens entre les activités agricoles et différentes composantes de l'environnement (qualité de l'eau, biodiversité, érosion, etc.). Ces données proviennent de différentes sources :

- érosion : base de données du GIS-sol (INDIQUASOL) et indicateur de l'aléa érosion (modèle MESALES – INRA);
- qualité de l'eau, nitrates et pesticides : bases de données des DREAL (suivi de la directive « Nitrates » et cartographie des zones vulnérables), bases de données des agences de l'eau (mise en place et suivi de la directive-cadre sur l'eau-synthèses « État des lieux des masses d'eau »);
- Biodiversité : dires d'experts (Solagro), Natura 2000 (directives « Habitat » et « Oiseau »).

À noter que pour certaines études de cas, des phénomènes « remarquables » supplémentaires ont été rapportés pour compléter l'analyse déjà présente dans les cas-types utilisés (par exemple la question des algues vertes pour la baie de Saint-Brieuc, les éléments sur la chrysome des racines du maïs en Aquitaine).

Sols

L'objectif de cette partie est de décrire les sols d'un point de vue agronomique : texture, fertilité chimique (capacité d'échange cationique et taux de saturation), état du carbone organique (quantité et évolution), réserve utile (valeur utilisée par la suite dans la modélisation des impacts du changement climatique) et principales contraintes pour la production végétale (hydromorphie, pente, cailloux, etc.). La quasi-totalité de ces données provient de la base de données du GIS-sol (BDAT) :

base de données analyses de terre) qui permet d'extraire des valeurs jusqu'à une échelle cantonale. Pour certaines études de cas, des données sur la qualité agronomique des sols sont par ailleurs disponibles sur les sites des chambres d'agriculture régionales ou départementales.

Ressource en eau

Un zoom sur la ressource en eau est fait de manière quasi systématique dans la mesure où le changement climatique tend à dégrader l'état hydrique des cultures (température plus élevée et déficit hydrique plus important). L'objectif est d'identifier les niveaux de prélèvement de la ressource (tous secteurs), d'évaluer l'équilibre entre ces prélèvements et la ressource disponible et enfin d'avoir un aperçu des ressources complémentaires mobilisables à court et moyen termes.

Un grand nombre de données sont disponibles sur les sites des agences de l'eau et des données complémentaires sont publiées sur les sites internet des chambres d'agriculture, des associations syndicales autorisées à irriguer, des observatoires de l'eau, d'associations d'irriguants, etc.

Climat

Le climat est décrit de façon très générale, en donnant le type de climat (océanique, continental, etc.) et en insistant sur les variables ayant un impact fort sur les productions agricoles (pluviométrie, gel, grêle, sécheresse climatique, neige, orage). Ce chapitre sert d'introduction à des analyses plus fines et aux projections climatiques futures.

2. Effets du changement climatique sur le système d'exploitation

■ Description du changement climatique et des impacts attendus

Pour chaque étude de cas, un important travail de fourniture de données et de modélisation a été effectué par Météo-France pour la station météorologique la plus proche du cas étudié.

Les simulations climatiques mensuelles établies par Météo-France permettent de confronter des données climatiques observées sur la période passée 1971-2000, centrée en 1985, à des données simulées (par le modèle Arpege Climat) pour le scénario A1B du GIEC et pour la période 2036-2065, centrée en 2050, qui correspond à l'horizon temporel de la prospective. Les indicateurs climatiques mensuels retenus sont les

suivants : température moyenne, cumul de précipitations, bilan hydrique (P-ETO), séquences de cinq jours avec au moins 60 mm de pluie, séquences de quinze jours sans pluie, nombre de jours où la température excède 25 °C.

■ Simulations climatiques journalières par culture à partir de données Météo-France

Pour chaque étude de cas, une à deux cultures sont analysées plus finement avec les données journalières de Météo-France (période 1971-2000 et période 2036-2065) permettant d'estimer le confort hydrique de la plante et la restitution d'eau au milieu.

Les indicateurs utilisés sont :

- le déficit hydrique (différence ETM-ETR du 1^{er} avril au 31 août), cet indicateur pouvant être rapproché d'un besoin d'irrigation potentiel ;
- le confort hydrique de la plante (ratio ETR/ETM du 1^{er} avril au 31 août) ;
- l'état quotidien de la réserve hydrique ;
- la restitution au milieu ou nombre de jours de drainage, visant à définir la quantité d'eau provenant des précipitations et non consommée par le couvert végétal (en nombre de jours par mois de janvier à décembre).

Ces indicateurs sont calculés pour une réserve utile donnée (entre 50 et 200 mm) et pour une culture donnée. Ils peuvent donc varier dans chaque étude de cas. L'évolution de ces indicateurs dans le temps est représentée par un graphique et commentée succinctement. En complément, une frise chronologique représente les stades phénologiques de la plante, pour les deux périodes climatiques considérées, 1971-2000 et 2036-2065.

Pour certaines cultures (prairies, cultures pérennes), l'absence de modèle de croissance validé n'a pas permis de renseigner ces indicateurs ou de calculer l'avancée des stades phénologiques.

■ Tableaux de synthèse des effets du changement climatique

À la fin de la deuxième partie de la fiche, un tableau résume par culture les impacts attendus du changement climatique, positifs ou négatifs. Ces tableaux sont construits à partir de l'analyse des simulations agroclimatiques précédentes, mais aussi à partir des informations fournies par les experts du groupe de travail de la prospective AFClm, des références scientifiques et la consultation d'experts extérieurs au groupe. Les effets du changement climatique sur les cultures

décrits dans chaque tableau peuvent être directs ou indirects. Ils sont détaillés selon les paramètres suivants : durée des cycles culturaux, conditions de semis et de récolte, rendements, qualité des récoltes, qualité des sols, disponibilité en eau, bio-agresseurs, auxiliaires des cultures, échouage, aléas climatiques et destruction des récoltes. Cette grille d'analyse a été construite à dire d'experts avec les membres du groupe AFCLim pour permettre une vision aussi exhaustive que possible des effets du changement climatique en agriculture. En fonction des données et connaissances disponibles, et selon les études de cas, il n'a pas toujours été possible de renseigner l'ensemble des effets potentiels.

3. Options d'adaptation

Enfin, chaque fiche se termine par la proposition de plusieurs hypothèses d'action. La synthèse des effets du changement climatique proposée en introduction de cette dernière partie des fiches

permet en premier lieu de comprendre les grandes incertitudes autant que les tendances marquées du climat local futur. Selon le lieu et les cultures, l'étude de cas peut ainsi se caractériser par des effets sensiblement positifs du changement climatique ou à l'inverse, par des effets adverses pour une activité agricole donnée. À noter que dans certains cas, les incertitudes sont importantes quant aux conséquences précises du changement climatique, et les options d'adaptation en tiennent alors compte.

Le nombre d'options d'adaptation varie pour chaque étude de cas. Chaque option d'adaptation débute par les objectifs de l'exploitant, avec si besoin une description de sa perception des risques climatiques à venir ou son aversion aux risques, car ces derniers influencent fortement les décisions de l'agriculteur ou de l'éleveur. Des éléments de contexte peuvent s'ajouter aux actions techniques envisagées, notamment lorsqu'un changement d'orientation majeure d'un ou plusieurs ateliers intervient.

Guide de lecture des fiches forêt

1. Diagnostic de l'unité de gestion forestière et de son environnement proche

■ Les caractéristiques de l'unité de gestion forestière

Cette partie décrit les caractéristiques sylvicoles générales de la forêt considérée. L'objectif est de donner une vision globale de l'unité forestière en décrivant les principaux types de peuplements et leurs caractéristiques générales (surface, âge, origine, etc.). À partir de la structure actuelle de la forêt, les principaux atouts et contraintes vis-à-vis des capacités d'adaptation au changement climatique sont également précisés. Les données sont issues des plans simples de gestion dans le cas de forêts privées et des plans d'aménagement dans le cas de forêts publiques.

■ Productions et résultats économiques

Cette partie a pour objectif de donner une idée de la productivité, du prix de vente du bois, des coûts, des revenus et de la rentabilité de l'unité de gestion forestière étudiée. Les données de valeur de ventes du bois sont obtenues soit à dire d'experts par les gestionnaires concernés, soit à partir des valeurs observées au cours des dernières années. Pour les données économiques, quatre indicateurs de productivité et un indicateur de rentabilité ont été utilisés. Les indicateurs de productivité sont :

- volume moyen annuel = somme des volumes coupés/durée du projet sylvicole ;
- coût annuel = somme des dépenses/durée du projet sylvicole ;
- recette annuelle = somme des recettes/durée du projet sylvicole ;
- bénéfice annuel = somme des recettes moins les dépenses/durée du projet sylvicole ;

Ces indicateurs peuvent apparaître en partie redondants mais il est important de disposer du détail des coûts et isoler notamment les frais fixes indépendants de la sylviculture qui doivent être pris en compte quelle que soit l'hypothèse d'adaptation proposée. Ces coûts prennent en compte les frais de sylviculture ainsi que les frais d'entretien des infrastructures et de mise en sécurité, mais ils ne prennent pas en compte les frais de gestion ni les impôts.

Ces critères de productivité ne prennent pas en compte le coût d'immobilisation des capitaux et

rendent équivalentes deux dépenses de même montant intervenant à deux dates différentes. Pour compléter ces informations, un autre indice a également été utilisé. Il s'agit d'un indicateur de rentabilité : le taux interne de rentabilité (TIR). Cet indicateur correspond à un taux de placement des sommes investies et reçues pour lesquelles le bénéfice actualisé est égal à zéro. Il prend en compte un taux d'actualisation permettant de différencier des montants obtenus à des périodes différentes. Des valeurs élevées de TIR sont favorisées par des durées de révolution courtes et des recettes précoces.

Ces indicateurs ont été choisis afin d'être utilisables pour l'ensemble des cas étudiés. Les données économiques sont issues soit des bilans financiers de la forêt étudiée ou de calculs économiques réalisés par les CRPF, l'ONF ou la Société forestière, à partir d'itinéraires techniques classiquement utilisés pour les essences considérées.

■ Contexte local

Éléments paysagers et contexte forestier

L'objectif de cette partie est de décrire le contexte forestier local à l'échelle de la sylvo-éco-région de l'Inventaire forestier national (IFN) ou à l'échelle du département. Elle décrit le relief, le paysage, le taux de boisement et les essences majoritaires de la région où se situe le cas étudié. Les informations proviennent majoritairement de documents d'inventaires de l'IFN, complétés parfois par les informations contenues dans les plans d'aménagement et dans les catalogues de stations forestières.

Éléments environnementaux

Cette partie décrit les caractéristiques écologiques de la forêt au travers de la présence d'habitats d'intérêt communautaire et/ou d'espèces protégées. La présence de ces zones à haute valeur écologique a été renseignée à partir des informations contenues dans les plans simples de gestion et dans les plans d'aménagement. Leurs caractéristiques sont issues des documents de description et des documents d'objectif disponibles sur le site de l'Inventaire national du patrimoine naturel³. Cette partie décrit également les usages non-forestiers (principalement récréatifs) de la forêt considérée.

3. Site <http://inpn.mnhn.fr>

■ Caractéristiques stationnelles, pédologiques et climatiques

Caractéristiques stationnelles et pédologiques

Cette partie a pour objectif de décrire plus précisément le contexte stationnel du cas d'étude : altitude, géologie, caractéristiques pédologiques et contraintes à la production forestière. Lorsque, dans le cas étudié, différentes stations forestières sont présentes, les principales sont présentées afin que les hypothèses d'adaptation puissent les prendre en compte. Les informations proviennent majoritairement des plans d'aménagement, des plans simples de gestion et des catalogues de station forestière. Elles sont complétées parfois par des informations issues des documents d'inventaire de l'IFN.

Caractéristiques climatiques

Le climat est décrit de façon très générale, en donnant le type de climat (océanique, continental, etc.) et les variables ayant un impact fort sur les productions forestières (pluviométrie, gel, etc.). Elles permettent de décrire le contexte climatique du cas d'étude. Les variables (pluviométrie annuelle, pluviométrie estivale, température moyenne annuelle, nombre de jours de gel et bilan hydrique climatique) sont celles généralement utilisées par le gestionnaire pour définir les espèces adaptées. Les données présentées dans le tableau sont fournies par Météo-France pour la station la

plus proche du cas d'étude. Les valeurs des principaux paramètres climatiques sont présentées et servent de références pour l'analyse plus fine et pour des projections climatiques au futur proche (2035) et au futur lointain (2085).

2. Effets du changement climatique sur le système d'exploitation

■ Description du changement climatique

Pour décrire le changement climatique, différentes données et études ont été mobilisées :

- évolution du climat moyen (précipitations, température, nombre de jours de gel, bilan hydrique climatique) à partir de projections réalisées par Météo-France ;
- évolution de la teneur en eau des sols et de l'intensité des sécheresses édaphiques (source : projet Climator modèle GRAECO – INRA Bordeaux et projet Climsec modèle ISBA – Météo-France) ;
- évolution du risque d'incendie (source : Météo-France).

Ces données étant issues de différentes études, nous avons tâché autant que possible de maintenir une cohérence dans les résultats mobilisés. Cependant, les périodes de temps, les méthodes de régionalisation du climat et la localisation des données météorologiques utilisées peuvent différer légèrement (cf. tableau n° 1).

Tableau n° 1. **Caractéristiques des données et projections mobilisées**

Données	Passé récent (PR)	Futur proche (FP)	Futur lointain (FL)	Station/localisation	Scénario modèle climatique et méthode de régionalisation
Climat moyen (Météo-France)	1971-2000	2021-2050	2071-2100	Station la plus proche	A1B Arpege Climat V4.5 Quantile-quantile
Bilan hydrique (projet Climsec, Météo-France)	1971-2000	2021-2050	2071-2100	Maille 8 km x 8 km	A1B, Arpege Climat V4.6 Types de temps
Risque incendie (Mission interministérielle, Météo-France)	1971-2000	2021-2050 et 2031-2050	2051-2070 et 2081-2100	Maille 8 km x 8 km	A1B, Arpege Climat V4

■ Effets du changement climatique

Cette partie consiste à identifier les effets futurs du changement climatique, en particulier sur la productivité, la mortalité et la régénération pour l'essence présente. Les effets du changement climatique sont renseignés par grandes catégories en fonction des modifications du confort hydrique et de l'intensité des sécheresses, des

interactions avec les pathogènes et les ravageurs, de la fréquence des incendies, de la durée de végétation et de l'augmentation de la disponibilité en CO₂. Ces informations sont issues d'une part de la bibliographie disponible pour les essences étudiées et, d'autre part, de l'analyse, par les experts sollicités, des évolutions climatiques attendues pour le cas d'étude.

Dans le cadre de la prospective, il n'était pas prévu de réaliser des modélisations de la productivité ni du risque de mortalité et de dépérissement à partir de données climatiques simulées localement. Cependant, pour le risque de gelées tardives, nous avons tout de même réalisé un travail de simulation avec Météo-France pour compléter les informations disponibles dans la littérature. Nous avons modélisé l'évolution du risque de gels tardifs uniquement pour les essences résineuses. Pour évaluer l'évolution de ce risque, nous avons modélisé la date de débourrement des arbres à partir de modèles basés sur des sommes de température publiées dans des revues scientifiques (Desprez-Loustau et Dupuis (1994) pour le pin et Aussenac (1973) pour le sapin et le Douglas). Puis nous avons compté le nombre de jours de gel (température maximum inférieure à -2°C et à -4°C) après la date de débourrement pour chaque année des trois périodes étudiées. Pour les essences feuillues, il n'existe pas dans la littérature actuelle de modèle simple de débourrement (ex. : le débourrement du hêtre dépend également de la photopériode). Nous avons donc reporté les prédictions des modifications des dates de débourrement modélisées par Lebourgeois *et al.* (2012), sans pouvoir évaluer le risque de gelées tardives en lui-même. Ces informations permettent néanmoins de prendre en compte des risques associés à ces décalages phénologiques dans les hypothèses d'adaptation.

De plus, l'élévation des températures conduira à une anticipation des stades phénologiques des essences forestières. Ces modifications phénologiques auront des effets sur les risques biotiques et abiotiques ainsi que sur la croissance et la reproduction des essences forestières. Bien que ces effets restent mal connus car ils nécessitent une connaissance approfondie des mécanismes et des interactions qui entrent en jeu, il apparaissait important d'essayer de les prendre en compte, au moins de manière qualitative, dans cet exercice de prospective.

3. Pistes d'actions d'adaptation et hypothèses

Les hypothèses sont formulées en réponse aux effets du changement climatique décrits dans la partie précédente et en fonction des caractéristiques technico-économiques du système étudié. Les hypothèses illustrent des intensités d'actions variables qui peuvent être dues soit au comportement du propriétaire (en fonction de sa perception du changement climatique et de son aversion aux risques), soit à des effets du changement climatique plus ou moins marqués (incertitudes climatiques et biotiques). Elles se veulent donc volontairement très larges en envisageant aussi bien un maintien du système que des ruptures importantes dans les objectifs de production ou les usages des sols.

2.2. LES QUATORZE ÉTUDES DE CAS

Cultures industrielles dans la Somme

Polyculture-élevage dans la Meuse

Bovin lait dans les Côtes-d'Armor

Forêt irrégulière de hêtre en Haute-Saône

Grandes cultures dans le Cher

Chênaie du bassin de la Loire

Viticulture dans le Beaujolais

Forêt de douglas en Limousin

Bovin allaitant dans la Creuse

Pin maritime dans les Landes

Mais irrigué dans les Landes

Arboriculture dans le Vaucluse

Sapinière en moyenne montagne méditerranéenne

Ovin viande dans les Hautes-Pyrénées

Cultures industrielles dans la Somme*

1. Diagnostic de l'exploitation et de son environnement proche

■ Caractéristiques de l'exploitation

Indicateurs	Valeurs	Remarques
SAU et assolement	155 ha Rotations : – en limon profond irrigable : Betteraves – Blé – en limon profond : Betteraves – Blé – Orge – Colza – Blé – en limon et craie : Colza (ou pois) – Blé – Orge – autres terres : Pois – Blé – Colza – Blé	Blé = 66 ha (44 % de la surface cultivée) Cultures industrielles (betterave, pomme de terre) = 36 ha (24 % de la surface cultivée) + 18 ha en colza 12 ha en pois 10 ha en orge de printemps 8 ha en orge d'hiver 5 ha en prairie permanente
UTH	1,3 unité de main-d'œuvre (1 chef d'exploitation et 1 salarié de septembre à novembre)	119 ha/unité de main-d'œuvre Pointes de travail : semis, plantations, moissons, récolte et stockage Juillet/août : traitements fongicides
Quota sucre	1400 tonnes	
Parc matériel	4 tracteurs	Dont 2 récents
Atouts	La diversification des productions permet de répartir le risque Sols variés Niveaux d'investissements moyens, choix de production facilement réversible	
Contraintes	Système dépendant des quotas	Pas de matériel de stockage et de conditionnement
Perspectives d'avenir	À l'avenir, l'augmentation du prix de l'énergie pourrait renchérir l'acheminement des récoltes vers les pôles de transformation et de consommation	

Source : INOSYS - Réseau grandes cultures, cas-type « Plantes sarclées (S) – Région Picardie », Chambre d'agriculture de Picardie, 2009.

■ Ateliers de production et résultats économiques¹

Ces exploitations sont présentes sur des marchés différents (céréales, sucre, fécule) qui les protègent dans une certaine mesure de l'instabilité des cours. Toutefois, les fluctuations des prix des céréales ont une incidence importante sur le produit de ces exploitations. Elles sont également très sensibles au prix des intrants, azote et énergie notamment. Les charges de structure sont globalement élevées en raison de la diversité des matériels et bâtiments nécessaires aux productions. La maîtrise des charges de structure est un élément clé de l'efficacité économique de ces systèmes.

* Cette fiche, rédigée en mars 2012, est le résultat des contributions de Sylvain Doublet, David Gouache, Fabienne Portet, et Daniel Quiévreux (chambre d'agriculture de la Somme).

1. Résultats économiques de 2009.

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Produit brut (€)	284 000 €	Dont 30 % aides PAC (65 221 €)
Charges (€)		
Charges opérationnelles	94 300 €	45 % engrais, 25 % traitements
Charges de structures (hors amortissement et frais financiers)	104 311 €	Dont 1/3 foncier
EBE (€)	65 000 €	EBE/produit : très peu efficace selon le repère *
Charges financières	10 583 €	
Disponibilité en travail et autofinancement	Revenu disponible par UTH = 35 758 €	
Atouts	Débouchés diversifiés	
Faiblesses	Sensibilité forte aux prix des céréales et des intrants Charges de structure élevées	

* Les résultats économiques présentés correspondent à la récolte de 2009 au cours de laquelle le résultat économique a été médiocre (EBE/produit : 25 %). Le résultat 2010 est voisin de 32 %.

Source : INOSYS - Réseau grandes cultures, cas-type « Plantes sarclées (S) – Région Picardie », Chambre d'agriculture de Picardie, 2009.

■ Contexte local

Agriculture

La Picardie se positionne parmi les premières régions françaises pour les rendements des productions végétales. S'y trouvent associées des industries agroalimentaires mais aussi non-alimentaires, avec des usines implantées sur tout le territoire. Les principales cultures sont les céréales (deuxième région française pour les superficies consacrées au blé), la betterave à sucre, les pommes de terre et les légumes destinés à la transformation. L'élevage est le plus souvent associé à la polyculture et permet de valoriser certains sous-produits ou certaines terres. Ces productions sont essentiellement réalisées par des exploitations agricoles professionnelles de grande taille. Une exploitation professionnelle cultive en moyenne près de 130 hectares en Picardie contre 80 pour la France métropolitaine. L'agriculture picarde s'est aussi orientée vers la recherche de nouveaux produits alimentaires à forte valeur ajoutée et vers des débouchés non alimentaires : valorisation de la plante entière selon le principe de la bioraffinerie, chimie du végétal, production de biocarburants et de matériaux².

L'étude de cas correspond à une exploitation non spécialisée, dont le type de système représente 6 % de la surface de la région. La production de viande (vaches allaitantes ou bœufs sur 10 ha d'herbe) est une variante de ce système. Aucune culture n'est irriguée dans le cas type, actuellement l'irrigation du blé n'est pas envisagée, mais dans la petite région agricole, celle-ci existe pour certaines cultures industrielles. Le sol est quasiment toujours labouré avant les semis et la plantation de betteraves et de pommes de terre. Pour le blé, les agriculteurs pratiquent le « non labour d'opportunité » quand de bonnes conditions de semis sont réunies (sol en

2. Source : Chambre régionale d'agriculture de Picardie.

bon état, précèdent précoce). La préparation du sol est alors simplifiée avec des outils à dents ou du semis direct. On peut estimer qu'en moyenne 50 % des blés sont implantés ainsi.

Éléments paysagers et agro-environnementaux du territoire

Le sous-sol de la Picardie est en grande partie composé d'assises crétacées et tertiaires qui occupent plus de 90 % de sa superficie, la craie en formant à elle seule environ la moitié. Les plateaux (établis sur la craie), plus ou moins entamés par un réseau de vallées sèches et profondément disséquées par les principaux cours d'eau, constituent des surfaces horizontales ou légèrement inclinées. Sur les flancs des vallées crayeuses s'observent souvent des ressauts de quelques mètres correspondant dans la majorité des cas à une rectification de la pente à des fins agricoles (appelés «rideaux»). Les zones tertiaires, au moins à proximité des régions crayeuses, ont une morphologie de buttes témoins ou de cuestas plus ou moins prononcées. Vers le centre du Bassin parisien, les calcaires dessinent de beaux plateaux découpés par les affluents de l'Oise et de la Marne.

Ces ensembles de plateaux et de vallées sont occupés essentiellement par des terres arables (60 %) mais aussi des zones boisées (19 %), des prés (12,1 %), des terrains artificialisés (5,2 %), des zones humides (1,6 %), des friches et landes (1,5 %), enfin des cultures maraîchères et fruitières (0,6 %).

La Picardie bénéficie d'un riche environnement littoral (dont l'estuaire de la Somme), de quelques grandes forêts, mais elle est la région où le rythme de disparition des espèces végétales, enregistré par les conservatoires botaniques nationaux, a été le plus rapide dans les 30 dernières années.

La Picardie est l'une des régions françaises où les sols sont les plus sensibles à l'érosion par ruissellement. Les trois principaux facteurs qui favorisent l'érosion des sols picards sont leur teneur en limons, la nature du couvert végétal et la pente³.

Éléments sur la qualité de l'eau en Picardie

À l'exception de l'Ouest du département de la Somme, toute la région Picardie est classée en zone vulnérable au sens de la Directive nitrates. L'état des lieux de la DCE (Directive cadre sur l'eau) adoptée en 2005 précisait que toutes les masses d'eau souterraines sont classées RNABE (risque de non atteinte du bon état chimique en 2015). Les nitrates et les produits phytosanitaires apparaissent comme la première cause de dégradation de la qualité. Pour les cours d'eau, ce sont les apports de matières organiques, nitrates et phosphore qui posent le plus de problèmes pour le respect des objectifs. Les apports de matières en suspension, notamment liés aux phénomènes d'érosion, interviennent également⁴.

Sols

Les sols sont variés et globalement à potentiel élevé. Les principaux types sont des limons battants profonds et des limons argileux, de l'argile, peu de sols calcaires (cranettes). Le point fort de ces sols est une texture franche donnant des terres légères, faciles à travailler et profondes (peu ou pas de pentes, pas d'hydromorphie, peu de cailloux). Les points faibles sont les risques d'érosion (aléas moyens à très forts) malgré la faible pente (richesse en limons fins), et la faible teneur en matière organique (en diminution de 1990 à 2004).

Caractéristiques des sols en Picardie

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Pentes	Faible	< 6 %
Texture	Sols très francs Argilo-limoneux (63 % des sols) et limoneux (29 % des sols)	25 % en moyenne de limons fins (très sensible à l'érosion) Entre 10 et 25 % d'argile (n'entraînant pas de contraintes majeures)
Fertilité chimique	Moyenne à bonne	CEC moyenne mais taux de saturation maximale
Carbone organique	Taux moyen à faible En diminution de 1990 à 2004	1,3 % (de 1 à 1,6 %) de matière organique
Battance	Moyenne à élevée	Limons fins en quantité importante et faible taux de matière organique
Hydromorphie	Très faible	
Réserve utile	100 à 200 mm	Moyenne à élevée

Source : GIS-SOL (BDAT et Indiquasol).

Climat

La Picardie appartient à la frange méridionale de l'Europe du Nord-Ouest et, comme l'ensemble de ce grand domaine géographique, elle est largement occupée au cours de l'année par des masses d'air humides et fraîches venues de l'Atlantique nord, réchauffées cependant par les eaux plus tièdes de la dérive nord-atlantique. En hiver, la Picardie, généralement plus humide que froide, se situe en limite ouest des avancées d'air polaire continental froid et sec. Sur les hauteurs du Pays de Bray et en Thiérache, la neige peut s'accumuler et persister quelques jours. Une fraîcheur persistante, une humidité quasi-permanente et des vents puissants, surtout en bordure du littoral, caractérisent la Picardie. Au printemps, comme en automne, voire en hiver, peuvent survenir de belles journées ensoleillées.

En Picardie, les saisons sont peu contrastées. Printemps et automne sont longs, avec des températures modérées et fraîches (12 à 15°C), et des pluies assez fréquentes (15 à 20 jours par mois) et abondantes, et un ensoleillement assez imprévisible. Lors de ces saisons intermédiaires, le vent souffle principalement de l'ouest et du sud-ouest. Vers l'est, ces vents se tempèrent et ceux du nord-est s'affirment de plus en plus. L'été est assez court et modéré (17 à 20°C environ). L'ensoleillement modeste ne dépasse guère 40 % de l'ensoleillement annuel (environ 1600 h/an à Saint-Quentin, 1660 h à Abbeville et 1700 h à Creil). Les éclaircies sont plus fréquentes que pendant les saisons voisines, le soleil plus chaud, la brume plus rare et surtout moins durable. En hiver, si les températures moyennes mensuelles sont positives, certains jours le thermomètre peut rester en dessous de 0°C : gel, verglas et neige sont assez imprévisibles. Janvier et février sont les mois les plus froids (air polaire froid et sec). Entre septembre et mai, seul le sud de la Picardie peut échapper au risque de gelées trop précoces ou trop tardives.

Données observées de la station de Saint-Quentin, statistiques mensuelles et à la quinzaine

Indicateurs	Moyenne de 1971 à 200
Température	10°C (min 3°C en janvier ; max 17°C en juillet / août)
Précipitation (cumul annuel)	694 mm (min : février 45 mm ; max : juin 67 mm)
Nombre de jour de gel	58 jours par an (dont 13 jours < - 4°C)
Nombre de jours échaudants	25 jours par an

Source : Météo-France.

3. Source : Association SOMEA.

4. Source : Agence de l'eau Artois-Picardie.

Ressource en eau et prélèvements

Deux importantes rivières traversent la région, l’Aisne, l’Oise, ainsi qu’un fleuve, la Somme. La quasi-totalité de l’alimentation en eau potable se fait à partir de la ressource souterraine. Il existe sur le district Artois-Picardie seulement deux captages d’eau superficielle destinée à l’alimentation humaine. La plupart des prélèvements d’eau de surface sont destinés à l’industrie. Les volumes d’eau à usage industriel prélevés dans la nappe ont été divisés par trois depuis les années 1970. Ces volumes n’incluent pas l’eau achetée aux services publics d’alimentation en eau potable.

Les prélèvements de l’agriculture, servant essentiellement à l’irrigation, sont faibles par rapport aux autres usages. Cependant, ces prélèvements sont concentrés sur une courte période : la période estivale. En cas d’année particulièrement sèche, ces prélèvements peuvent localement poser problème⁵.

Prélèvements d’eau pour différents secteurs d’activités sur le bassin Artois-Picardie en 2010

Postes	Prélèvements eaux de surface (en m ³)	Prélèvements eaux souterraines (en m ³)
Industrie	101 753 354	65 847 209
Alimentation en eau potable	20 528 737	298 128 43
Agriculture	578 982	35 032 757
Autre	2 115 028	9 055 998

Source : Agence de l’eau Artois-Picardie.

L’irrigation

Mille exploitations agricoles pratiquent l’irrigation en Picardie. En année moyenne, 60 000 ha de cultures de pommes de

5. Sources : Agence de l’eau Artois-Picardie ; DCE – État des lieux.

terre et légumes de plein champ sont irrigués. Les années à faible pluviométrie, les irrigants sont contraints de réduire leurs prélèvements d’eau dans les nappes et les rivières quand les seuils de niveau de nappes ou de débits de rivières définis statistiquement sont atteints. Cette gestion est mise en œuvre à l’échelle de 27 bassins représentant chacun une masse d’eau (cours d’eau ou nappe)⁶.

2. Effets du changement climatique sur le système d’exploitation

■ Description du changement climatique et des impacts attendus

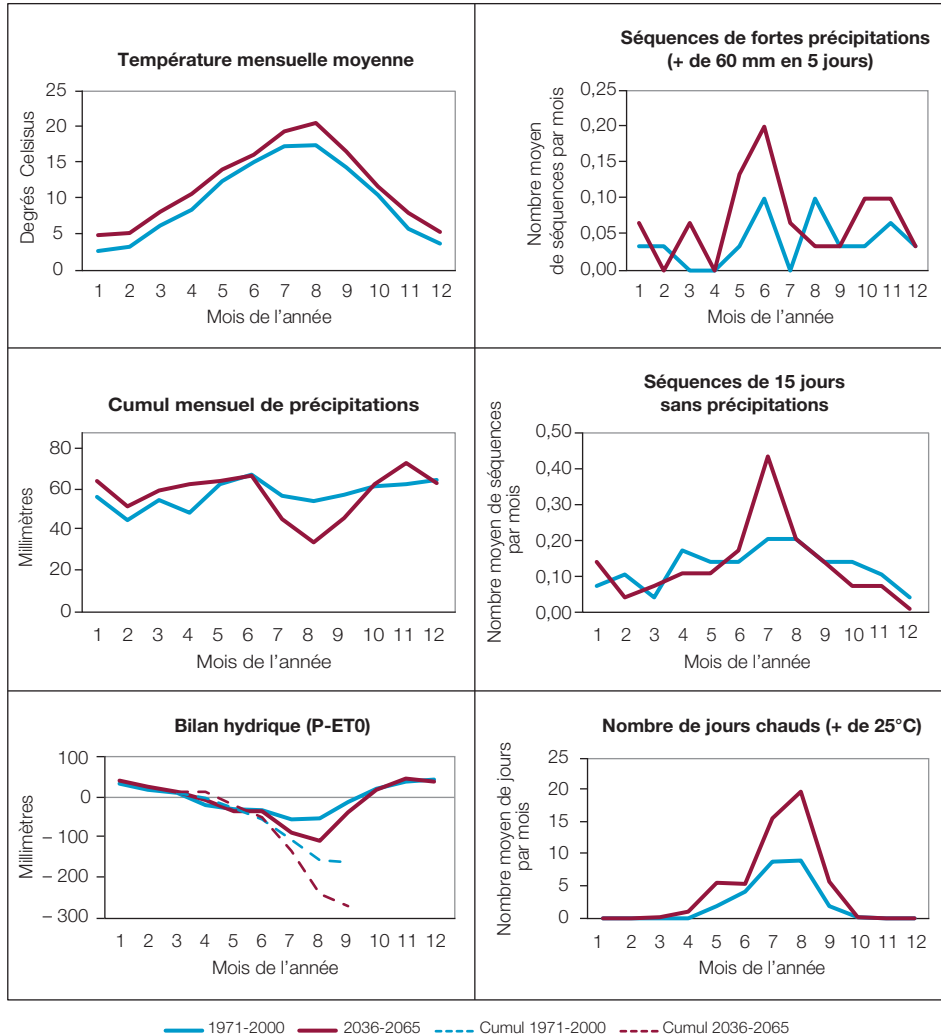
Les données suivantes sont issues de simulations climatiques mensuelles réalisées spécifiquement pour cet exercice à partir de données Météo-France. Elles concernent d’une part une période de référence centrée en 1985 allant de 1971 à 2000. D’autre part, elles concernent une seconde période future centrée en 2050 (l’horizon temporel de la présente étude prospective) allant de 2036 à 2065.

La comparaison entre les périodes 1971-2000 et 2036-2065 montre :

- une augmentation des températures relativement homogène sur l’année de 1,6°C (plus marquée en août avec +2°C) ;
- un cumul de pluie équivalent sur le premier semestre, dégradé sur la période juillet-août -septembre ;
- un déficit hydrique (P-ET0) très dégradé de juin à août ;
- un doublement du nombre de jours échaudants pendant la période estivale ;
- une augmentation du nombre moyen mensuel de séquences de 15 jours sans pluie en juillet.

6. Source : Chambre régionale d’agriculture de Picardie.

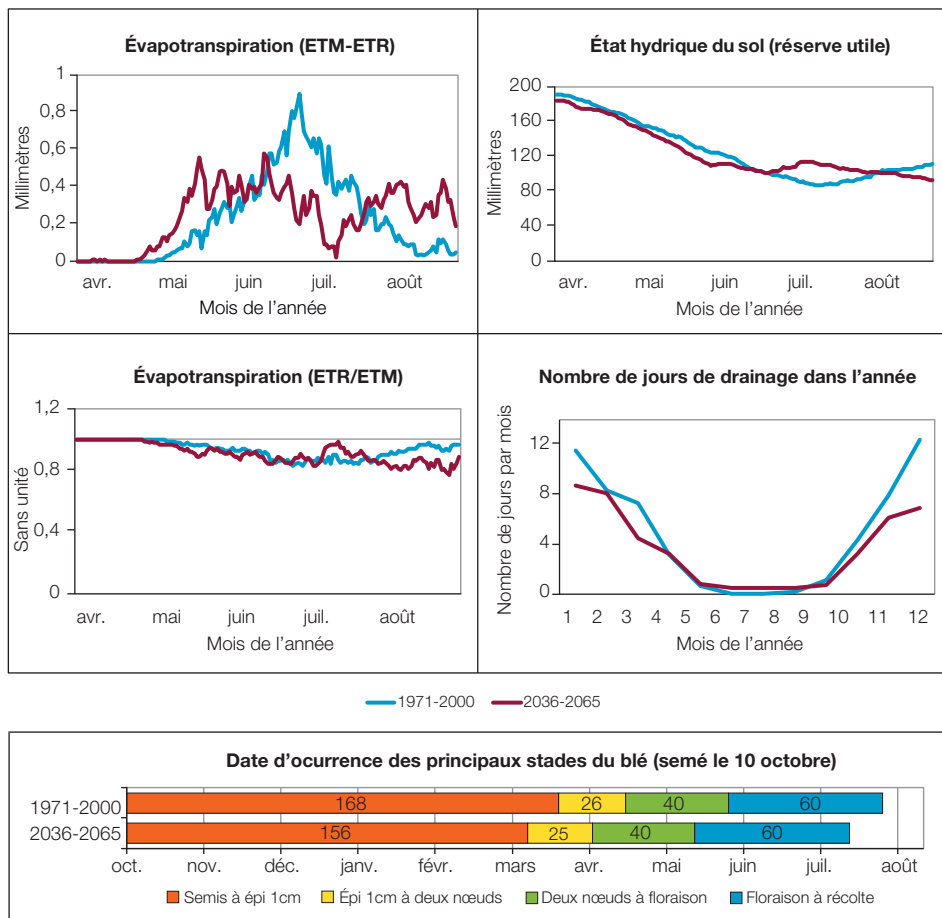
Station de Saint-Quentin



La comparaison entre les périodes 1971-2000 et 2036-2065 (pour le blé et un sol ayant une réserve utile de 200 mm) montre qu'il n'y a pas de dégradation du confort hydrique du blé compte tenu de l'avancée des stades phénologiques.

Le stress hydrique serait en effet accru de fin juillet à août pour la période 2036-2065, mais il serait sans effet sur le blé, qui serait alors récolté depuis la première quinzaine de juillet.

Blé – principaux indicateurs de l'état hydrique (RU : 200 mm)

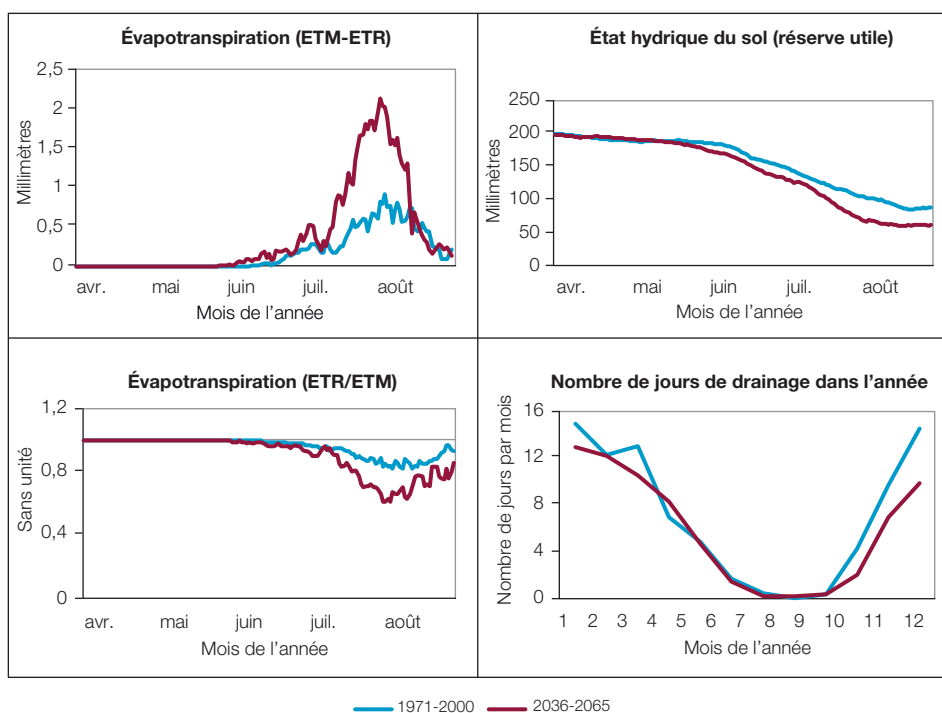


En prenant comme modèle une betterave et un sol dont la réserve utile est de 200 mm, la comparaison entre les périodes 1971-2000 et 2036-2065 montre :

- un stress hydrique (ETR/ETM) accru de fin juin à août ;
- un confort hydrique (ETM-ETR) très amoindri en juillet-août ;

- une dégradation de la disponibilité en eau (réserve hydrique) pendant tout l'été et en particulier en août ;
- une réduction du nombre de jours de drainage à l'automne (octobre à décembre).

Betterave – principaux indicateurs de l'état hydrique (RU : 200 mm)



■ Effets attendus du changement climatique sur les cultures du système étudié

Blé

Effets du CC sur ↓	Description
Durée des cycles culturaux	Avancée des dates d'épiaison de 8 jours entre le passé récent et le futur proche.
Conditions de semis, récolte	Les conditions de semis en automne pourraient être moins humides.
Rendements	Potentiel de rendement peu affecté en raison d'une compensation entre phénomènes positifs (fertilisation en CO ₂ , croissance précoce favorisée) et négatifs (accroissement des stress hydriques, surtout problématique dans les sols à faible réserve, et des stress thermiques en fin de cycle). Néanmoins, sans adaptation permettant de valoriser les phénomènes positifs, la tendance sera plutôt négative. (Brisson et Levraut, 2010 ; ACTA-MIRES, 2009).
Disponibilité en eau	Le déficit hydrique augmente pendant la montaison puis le remplissage du grain.
Bioagresseurs	Résultats empreints d'incertitude, mais probabilité d'augmentation des risques en sortie d'hiver puis de diminution en montaison : conséquences sur les épidémies difficiles à prévoir. Risques liés aux ravageurs plutôt en croissance (augmentation des températures hivernales notamment). (Brisson et Levraut, 2010).
Échaudage	Le nombre de jours où la température excède 25°C entre l'épiaison et la fin du stade laiteux double. Le nombre de jours échaudants pendant le remplissage augmente (+1 jour).
Aléas climatiques, destruction des récoltes	La fréquence des années à température gélive pendant la montaison diminue de moitié.

Betterave

Analyse rétrospective : poids important des hausses des températures au printemps sur les progrès importants des rendements en sucre des betteraves sucrières enregistrés durant les 20 dernières années (Escriou *et al.*, 2010).

Effets du CC sur ↓	Description
Durée des cycles culturaux	Les températures plus élevées en fin d'hiver permettront d'anticiper les semis des betteraves et donc d'augmenter la durée de végétation, favorable à une augmentation de productivité.
Conditions de semis, récolte	Les conditions de récolte à l'automne pourraient devenir plus sèches (nombre de jours de drainage réduit en automne), ce qui pourrait rendre possible des récoltes un peu plus tardives.
Rendements	La hausse des températures printanières et estivales pourrait influencer positivement sur les rendements, tandis que le stress hydrique estival pourrait les pénaliser : quel effet prévaudra ?
Sol (humidité, matière organique, salinité, érosion)	Sols moins humides lors des récoltes (donc diminution de la tare terre).
Disponibilité en eau	Stress hydrique accru en été.
Bioagresseurs	Certains problèmes sanitaires (nématodes et cercosporiose) pourraient être accrus.
Échaudage	Les températures élevées (Tmax > 25°C) n'ont pas d'effet pénalisant sur la croissance de la betterave mais augmentent l'effet du stress hydrique.

■ Synthèse : effet du changement climatique sur le système d'exploitation

L'impact du changement climatique sera relativement faible sur cette zone et les caractéristiques pédo-climatiques resteront vraisemblablement favorables aux cultures déjà en place. L'augmentation du nombre de jours échaudants pourrait toutefois compromettre la bonne conduite des cultures jusqu'à leur terme et induire des pertes de rendement. Concernant la betterave, dans la mesure où elle est cultivée pendant sa phase végétative, elle ne présente pas de stade physiologique sensible et elle est donc moins pénalisée par les fortes températures. Le stress thermique peut entraîner des pertes de rendement en sucre et a également des effets négatifs sur la qualité industrielle et l'extractibilité du sucre (du fait du fort accroissement de composés azotés solubles)⁷. Certains problèmes sanitaires (nématodes et cercosporiose) seraient également accrus.

7. Richard-Molard, M. 2007. « Changement climatique. Quelles conséquences pour la betterave ? », *Le journal du cercle des planteurs*, numéro 16, pp. 7-8.

3. Options d'adaptation à l'échelle de l'exploitation et de son territoire

■ Option CI1 : Utiliser de nouvelles variétés pour esquiver le risque d'échaudage

L'objectif est d'éviter les potentiels effets négatifs du changement climatique sur le blé (stress thermique et dégradation du confort hydrique) en repositionnant le cycle de cette culture. L'utilisation de variétés plus précoces est le principal levier de cette stratégie d'esquive et il permet de tirer parti des effets positifs du réchauffement (augmentation du taux de CO₂ et du potentiel de croissance précoce). On peut s'attendre dans ces conditions à un maintien voire à une légère augmentation du rendement, avec toutefois une variabilité inter-annuelle accrue. Concernant la betterave, l'utilisation de variétés mieux adaptées à ces conditions doit permettre d'absorber une partie des effets négatifs du changement climatique et de bénéficier des effets positifs sur le rendement de l'augmentation des températures au printemps.

■ Option CI2 : Mettre en place de l'irrigation d'appoint

L'objectif est de profiter au maximum de l'offre climatique accrue et de compenser la dégradation du confort hydrique par de l'irrigation d'appoint, pour le blé comme pour la betterave. Il s'agit donc de limiter le raccourcissement naturel du cycle du blé avec des variétés tardives pour bénéficier au maximum des effets positifs de l'augmentation du CO₂, de la baisse du risque de gel des épis et de l'augmentation du rayonnement pendant la montaison. Une avancée importante de la date de semis est rendue possible par l'irrigation d'appoint pour assurer de bonnes conditions de levée. L'apport d'eau permet également de gérer le déficit hydrique en fin de cycle. Pour la betterave, l'allongement du cycle de végétation est recherché pour accroître le rendement, avec des dates de semis avancées grâce à la hausse des températures au printemps, et avec des dates de récolte retardées en hiver.

■ Option CI3 : Développer des pratiques d'agriculture de conservation en lien avec des sauts technologiques de désherbage

Cette option repose sur un changement profond des pratiques agricoles en adoptant des techniques de l'agriculture de conservation : la couverture du sol, la suppression du labour, et l'allongement des rotations visent à rendre le système de production plus résilient aux variations climatiques. La diversification des cultures permet effectivement de disperser les risques. Dans cette option, les cultures de maïs et de légumineuses pourraient être développées, le maïs en particulier profitant d'une évolution climatique favorable. La couverture du sol protège et réduit les pertes en eau par ruissellement et par évaporation, et améliore les conditions de levée. Néanmoins, les conditions climatiques dans lesquelles ces bénéfices s'exprimeront nettement resteront assez rares. La betterave peut également être implantée en semis direct après une période de transition avec réduction progressive du travail du sol. La contrainte essentielle qui limite le recours au non-labour étant le désherbage, le développement de technologies de désherbage de précision, par exemple de robots autonomes, favoriserait fortement ce type d'approche. Une variante ou un prolongement de cette option serait une conversion à l'agriculture biologique. En effet, les travaux disponibles (Brisson et Levrault, 2010) suggèrent que l'agriculture biologique ne sera pas défavorisée par le changement climatique et que l'écart de rendement entre production conventionnelle et biologique tendra à diminuer. On peut également s'attendre à une augmentation sensible de la teneur en protéines des blés bio dans le nord de la France.

Polyculture-élevage dans la Meuse*

1. Diagnostic de l'exploitation et de son environnement proche

■ Caractéristiques de l'exploitation

Indicateurs	Valeurs	Remarques
UTH	2	
Quota laitier	450 000 litres	8 000 litres/VL (Prim'Holstein) taux de renouvellement fort (36 %) 7 400 litres/ha SFP
SAU	140 ha	40 % en SFP ; dont prairies permanentes (40 ha) sur les zones à fortes contraintes (argile) et maïs ensilage (20 ha)
dont SFP	60 ha	60 % en cultures de vente ;
dont ventes	80 ha	dont blé (50 %) orge d'hiver (25 %) et colza (25 % – la moitié en diester)
Rotation	5 ans	Maïs – blé – orge – colza – blé (pas de légumineuses) Terres drainées et labourées
Parc matériel	Propriété	Entreprise pour moisson et ensilage de maïs et d'herbe
Bâtiments	Fonctionnels et aux normes	Stabulation paillée (paille auto-produite)
Atouts	Diversité et complémentarité des ateliers Autonomie en fourrages	Autonomie en paille (pouvant servir de fourrage en cas de difficulté) Bon potentiel des prairies et de l'ensilage (le maïs assure la sécurité du système fourrager)
Contraintes / points faibles	Dépendance de sources protéiques extérieures Stockage de fourrage important Dépendance au maïs	Autonomie en concentrés faible (40 %) Pas de légumineuses dans la rotation Bilan azote excédentaire
	Éclatement du parcellaire Pointes de travail	Agrandissements successifs Semis et récoltes

Source : Réseaux d'élevage (Chambres agriculture / IDELE), cas-type laitier Est de la France 10, 2004.

■ Ateliers de production et résultats économiques¹

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Produit total : 250 000 €/an		
Ateliers de production		
Lait	55 % du produit total	140 000 €/an
Cultures	20 %	50 000 €/an (dont 50 % blé – 90 €/t)
Autres produits	< 10 %	Ventes animales (réformes + veaux)
Aides	17 %	42 000 €/an (dont 80 % DPU)
Charges totales : 155 000 €/an		
Charges opérationnelles	45 %	Dont cultures (y compris SFP) 45 %

* Cette fiche, rédigée en mai 2012, est le résultat des contributions de Sylvain Doublet, Denis Ollivier, Jean -Christophe Moreau et Clément Villien.

1. Résultats 2004

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Dont animaux 55 % (dont 50 % concentrés VL)		
Charges de structure	55 %	Main-d'œuvre (30 %) mécanisation (30 %), fermage (15 %)
EBE : 95 000 €/an (37 % du produit brut)		
Charges financières	40 000 €/an (45 % EBE)	
Faiblesses	Système très sensible au prix du lait	
Contraintes	Bonne gestion des charges (mécanisation) et des intrants indispensables	

Source : Réseaux d'élevage (Chambres agriculture / IDELE), cas-type laitier Est de la France 10, 2004.

■ Contexte local

L'agriculture

Les surfaces agricoles recouvrent 54 % du territoire départemental. Les terres arables ou cultivables représentent 36 % de la superficie du territoire meusien et 2/3 des surfaces agricoles. Les 340 000 hectares de SAU sont occupés principalement par :

- 230 000 hectares de terres arables (céréales et oléagineux) ;
- 100 000 hectares de prairies.

Le département compte 2 962 exploitations agricoles en 2006 (en majorité des exploitations individuelles), dont 2014 exploitations professionnelles (68 % - surface moyenne 150 ha). 80 % des exploitations meusiennes détiennent un atelier d'élevage (très majoritairement bovin), une exploitation sur deux est encore une exploitation laitière mais l'élevage disparaît parfois au profit des grandes cultures. La production laitière et la production de viande bovine représentent près de 90 de la valeur totale des productions animales².

Éléments paysagers et agro-environnementaux du territoire

Le département de la Meuse présente un relief varié avec une gamme diversifiée de paysages :

- à l'est, une plaine humide et ondulée, la Woëvre, qui vient buter à l'Ouest au pied d'un talus abrupt haut de 150 m et plus : les Côtes de Meuse ; les Côtes de Meuse sont le rebord oriental d'un vaste plateau sec, souvent boisé, large, élevé au Sud et qui s'abaisse lentement à la fois vers le Nord et l'Ouest ;
- la vallée de la Meuse, large en moyenne de 2 km, sépare les « hauts de Meuse » à l'Est du « Pays aux Bois » en rive gauche ;
- à l'ouest, on trouve :
 - au Sud le plateau du Barrois qui se prolonge en Haute-Marne et dans les Vosges ;
 - au centre la plaine alluviale de Revigny qui se prolonge en Marne ;
 - au Nord le massif boisé argonnais.

2. Source : Chambre d'agriculture de la Meuse.

L'étude de cas se situe dans les petites régions agricoles des Côtes de Meuse et du Plateau du Barrois.

Sols³

Le cas-type se situe sur une zone regroupant deux sous-ensembles : le Barrois et les Côtes de Meuse.

Le Barrois se situe sur un plateau calcaire. Les sols y sont peu profonds, caillouteux et sensibles à la sécheresse en bordure de plateau plus superficiel. Ils sont plus profonds sur le plat, avec certaines zones limono-argileuses, bien drainantes et favorables aux cultures. Les rendements en grandes cultures sur ce plateau sont sensibles aux déficits de précipitations en année sèche. Certaines zones accidentées présentent des terrains argileux lourds et sont souvent en prairie.

Sur les Côtes de Meuse, les sols sont peu profonds, calcaires et caillouteux (terres difficiles) sur le plateau. Les rendements en céréales sont modestes et la majorité du plateau est recouverte de forêts. En bordure de plateau, les calcaires sont plus friables et ont développé un sol plus profond, riche en calcaire actif (présence de carrières d'exploitation du calcaire) mais encore sensible à la sécheresse.

Caractéristiques des sols de la Meuse

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Unité pédo-paysagère	Barrois	
Profondeur	Moyenne (50 à 100 cm)	Faible sur les bordures
Texture	Argilo-limoneuse (35 % argile)	Quelques zones très argileuses (> 40 %)
Réserve utile	Moyenne	100 mm
Fertilité chimique	Elevée pH : > 8 CEC : valeur moyenne à élevée	Taux de saturation élevé Carbone organique : élevé (stable)
Unité pédo-paysagère	Côtes de Meuse	
Profondeur	Faible (< 50 cm)	Faible sur les bordures
Texture	Argilo-limoneuse (35 % argile)	Quelques zones très argileuses (> 40 %)
Réserve utile	Moyenne à faible	50 à 100 mm
Fertilité chimique	Faible pH : 7 à 8 CEC : valeur faible	Taux de saturation élevé Carbone organique : moyen (en diminution)

Source : GIS sol.

Le climat de la Meuse

La Meuse est soumise à un climat tempéré (influences océanique et continentale) caractérisé par des saisons thermiques alternées. Le régime des températures alterne une saison froide et une saison chaude, entre lesquelles s'intercalent les transitions tièdes du printemps et de l'automne. Les variations de températures restent modérées (domination océanique adoucissante des flux d'ouest), on peut souligner des épisodes de « durcissement » climatique apparaissant sous l'effet de la continentalité en hiver (un anticyclone froid induit un gel fort et prolongé parfois renforcé par un vent de nord-est). En été (assez court), la canicule est régulière. Ce régime thermique caractérise donc un climat de type océanique dégradé à nuances continentales :

- pluviométrie : 800 mm en moyenne (maximum en hiver

et les étés sont souvent secs) ;

- température moyenne en janvier : 1°C ;
- température moyenne en juillet : 18°C ;
- ensoleillement : 1 800 h/an ;
- nombre de jours de pluie : 170 ;
- neige : 14 j/an (à Neufchâteau) ;
- orage : 22 j/an (à Neufchâteau).

La ressource en eau en Meuse

La Meuse dispose d'une ressource en eau abondante⁴ et de milieux aquatiques d'une grande richesse (rivières, plans d'eau, lacs, bassins, étangs, mares, zones humides).

Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux⁵ précise que la ressource en eau est globalement abondante sur le district, mais une vigilance doit être maintenue pour préserver l'équilibre quantitatif de la ressource en eau. Il est globalement assuré pour les eaux souterraines sur le district, la pression de prélèvements ne dépassant pas les capacités de réalimentation des nappes.

En revanche, les prélèvements dans les eaux superficielles peuvent localement générer des problèmes, notamment lors de l'étiage en période estivale. Hormis les prélèvements liés aux besoins énergétiques pour le refroidissement de la centrale nucléaire de Chooz (environ 200 millions de m³ par an, en grande partie restituée), l'industrie est le plus gros préleveur avec un peu plus de 20 millions de m³ par an principalement (localisés sur les territoires Chiers Meuse et Moyenne Meuse). Les prélèvements des collectivités pour la distribution d'eau potable sont faibles (environ 1,4 million de m³). Les prélèvements agricoles sont quasi-inexistants.

2. Effets du changement climatique sur le système d'exploitation

■ Description du changement climatique et des impacts attendus

Les données suivantes sont issues de simulations climatiques mensuelles réalisées spécifiquement pour cet exercice à partir de données Météo-France. Elles concernent d'une part une période de référence centrée en 1985 allant de 1971 à 2000. D'autre part, elles concernent une seconde période future centrée en 2050 (l'horizon temporel de la présente étude prospective) allant de 2036 à 2065.

La comparaison entre les périodes 1971-2001 et 2036-2065 à Nancy montre :

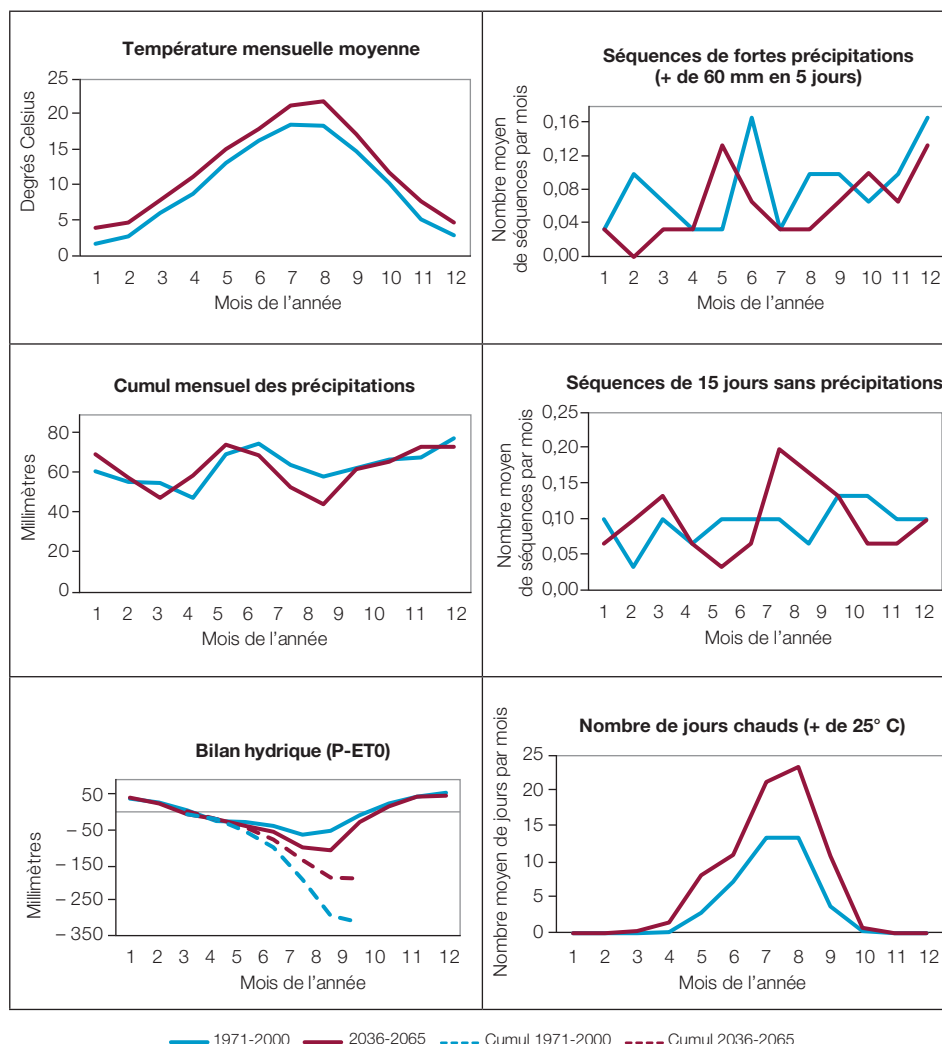
- une augmentation des températures homogène sur l'année ;
- un cumul de pluie qui se dégrade en juillet et en août ;
- un déficit hydrique (P-ETO), plus marqué de mai à septembre ;
- un nombre de jours échaudants très important de juillet à septembre ;
- une augmentation importante du nombre de séquences de 15 jours sans pluie en juillet et en août.

3. Source : Chambre régionale d'agriculture de Lorraine.

4. Source : Conseil général de la Meuse.

5. Source : Agence de l'eau Rhin Meuse, District Meuse et Sambre.

Station de Nancy



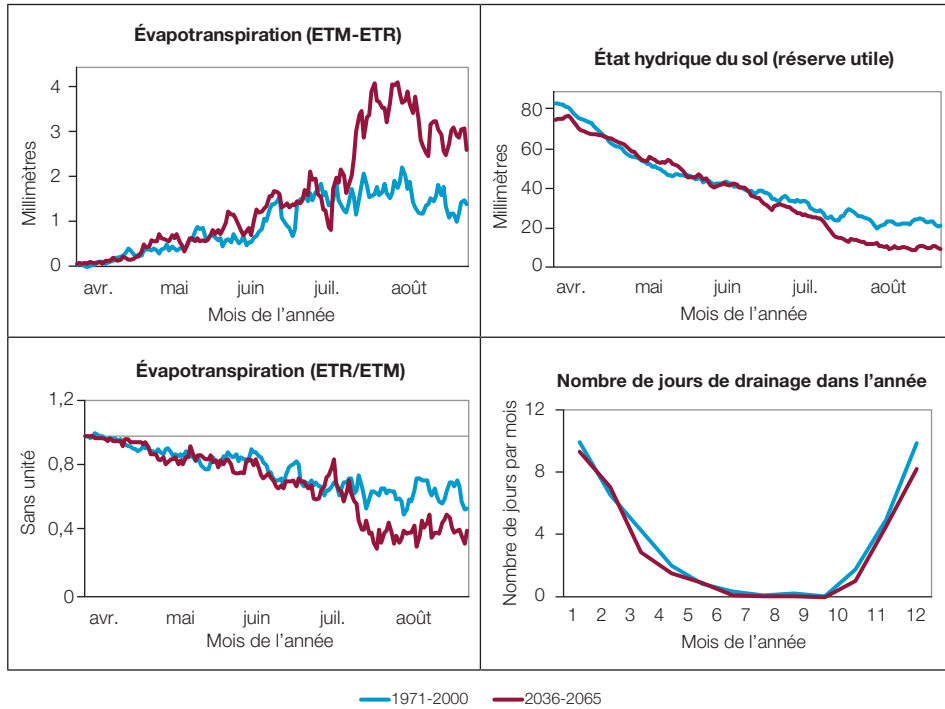
En prenant comme modèle une prairie (herbe) et un sol dont la réserve utile est de 100 mm, on constate :

- un confort hydrique de l'herbe qui se dégrade en juillet et août (avec un ratio ETR/ETM égal à 0,4) ;
- des besoins en eau supplémentaires de l'ordre de

100 mm d'avril à août pour limiter l'impact d'un stress hydrique sur le rendement ;

- un état de la réserve hydrique qui se dégrade régulièrement de mai à août (10% de remplissage en août en 2036-2065 contre 20% en 1971-2000).

Herbe - principaux indicateurs de l'état hydrique du couvert (RU : 100 mm)



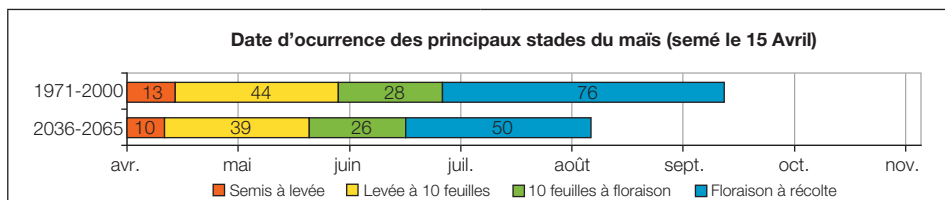
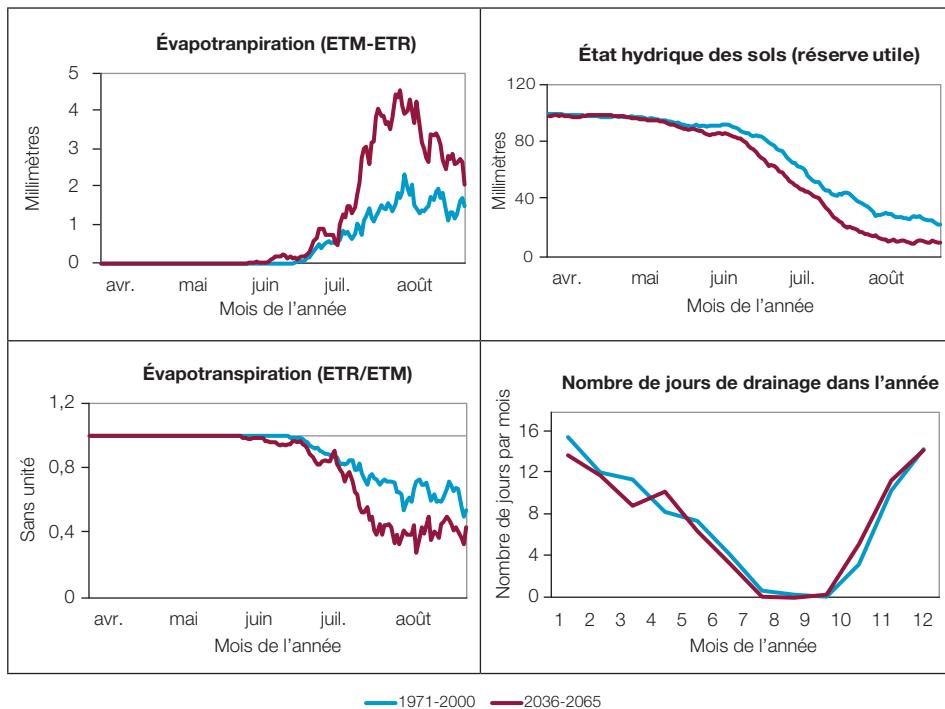
En prenant comme modèle une culture de maïs et un sol dont la réserve utile est de 100 mm, on constate :

- un confort hydrique qui se dégrade de juin à août (avec un ratio ETR/ETM autour de 0,4 en août) ;
- des besoins en eau supplémentaires de l'ordre de

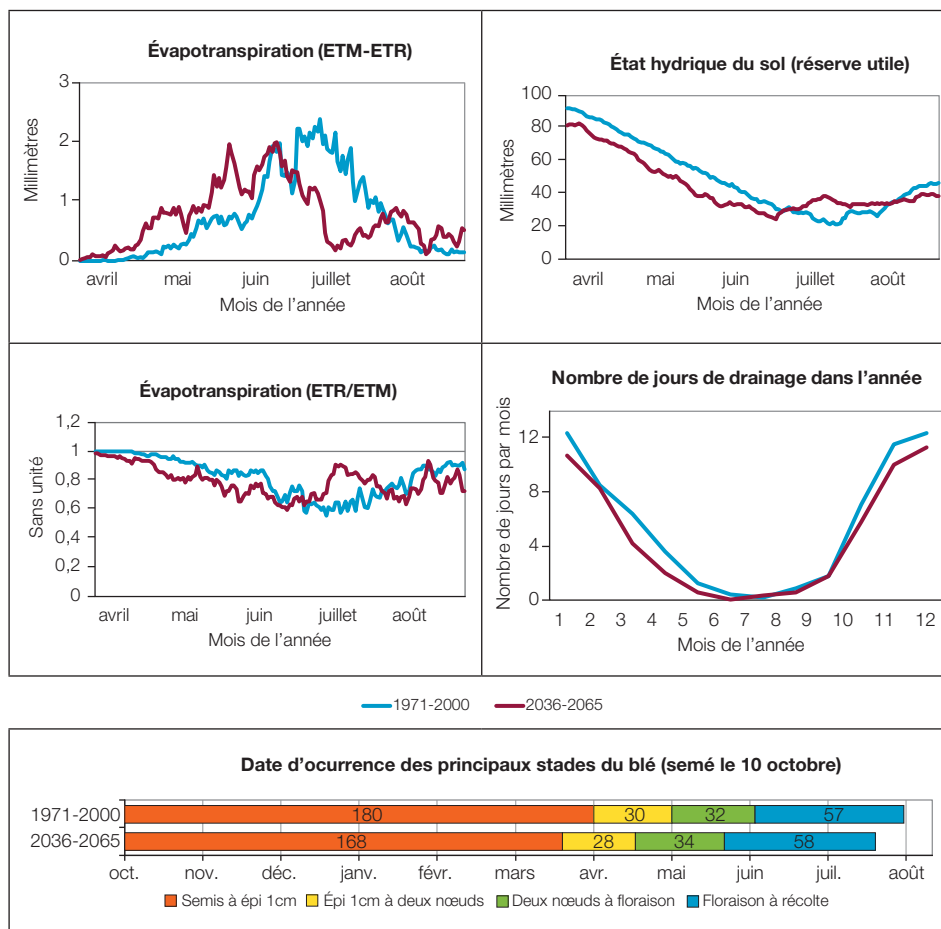
100 mm de juin à août pour limiter l'impact d'un stress hydrique sur le rendement ;

- un état de la réserve hydrique qui se dégrade régulièrement de mai à août (15% de remplissage de la RU fin août).

Maïs - principaux indicateurs de l'état hydrique du couvert (RU : 100 mm)



BLE - principaux indicateurs de l'état hydrique du couvert (RU : 100 mm)



En prenant comme modèle une culture de blé et un sol dont la réserve utile est de 100 mm, on constate :

- une avancée des stades phénologiques de 15 à 20 jours ;
- un confort hydrique qui se dégrade légèrement d'avril à juin (avancée des stades) ;
- des besoins en eau identiques sur l'année mais qui se décalent vers le début du printemps ;
- une restitution au milieu qui diminue de 15 %.

Effets attendus du changement climatique sur les cultures du système étudié

Cultures céréalières

Effets du CC sur ↓	Description
Durée des cycles culturaux	Le blé se récolterait plus tôt et donc libérerait le sol début juillet ou fin juin en année à échaudage (auteurs). L'augmentation de la disponibilité thermique permettrait d'utiliser des variétés de maïs à cycle plus long sans trop augmenter les besoins en eau (+10 à +20mm) (auteurs). L'augmentation des températures entrainerait une hausse du risque de sécheresse édaphique pour le colza, dont il faudrait retarder les semis (Brisson et Levraut, 2010).
Conditions de semis, récolte	L'augmentation des températures, y compris en mars et avril, laisse penser que les sols se réchaufferont plus vite ce qui permet d'envisager un semis de maïs d'indice supérieur donc plus productif, à condition que les gelées de printemps et d'automne ne viennent pas l'interdire (Brisson et Levraut, 2010).

Effets du CC sur ↓	Description
Rendements	Le semis de maïs d'indice supérieur laisse envisager une augmentation des rendements de cette culture (voir ci-dessus). Régularisation inter-annuelle de la production de maïs (la production de maïs grain n'est plus aléatoire) (Brisson et Levraut, 2010). La diminution du risque de gel permet une augmentation des rendements en colza (Brisson et Levraut, 2010).
Qualité des récoltes	L'augmentation des températures ne rend plus nécessaire le séchage des grains. Des récoltes plus précoces permettront de cultiver plus facilement le maïs en rotation (Brisson et Levraut, 2010).
Disponibilité en eau	L'augmentation des températures devrait provoquer une hausse de la demande en eau (évaporation), ce qui pourrait mettre en difficulté le maïs (Brisson et Levraut, 2010).
Aléas climatiques, destruction des récoltes	On ne dispose pas de données sur les risques de gelées au printemps ou sur les dates de premières gelées d'automne qui aujourd'hui impliquent une stratégie assez prudente de choix variétal maïs. Si la température augmente, on pourrait considérer une réduction du risque au printemps comme à l'automne pour le maïs (Brisson et Levraut, 2010).
Autre	L'augmentation de la disponibilité thermique entraine un décalage vers le nord de la marge de culture du tournesol, qui pourrait s'implanter en Lorraine (Brisson et Levraut, 2010).

Cultures fourragères

Effets du CC sur ↓	Description
Durée des cycles culturaux	L'allongement de la période de pousse de l'herbe permet de gagner 5 jours de pâturage au printemps et une semaine à l'automne (Acta-Mires, 2009).
Conditions de semis, récolte	Pour la valorisation de l'herbe, pas de dégradation des conditions d'accès à la ressource pour des fauches précoces, pas de dégradation non plus en automne pour l'accès aux animaux (conditions de portance) De possibles problèmes de gestion de la pointe de travail de printemps pourraient apparaître (Acta-Mires, 2009). Maïs récoltable en grain dans de bien meilleures conditions : le maïs devient en Lorraine une culture à double fin, comme ailleurs en France. Possibilité d'ensilage 15 jours plus tôt (Acta-Mires, 2009).
Rendements	Le rendement de l'herbe est globalement à la hausse (au printemps surtout, avec des températures plus favorables) malgré l'apparition d'un déficit hydrique l'été plus fréquent (Acta-Mires, 2009). Rendements maintenus en moyenne pour le maïs ensilage, mais plus variables (Acta-Mires, 2009). Les rendements de la luzerne pourraient augmenter (+ 15 %) (Acta-Mires, 2009).
Qualité des récoltes	Possibilité de semer des variétés de maïs plus tardives avec un meilleur rapport grain/plante entière (Acta-Mires, 2009).
Disponibilité en eau	L'accès à l'irrigation permettrait de réguler les rendements en maïs (Acta-Mires, 2009).

■ Synthèse : effets du changement climatique sur le système d'exploitation

En entraînant une augmentation des températures et du rayonnement, sans provoquer de baisse des précipitations trop importante, le changement climatique pourrait avoir des conséquences positives pour l'agriculture en Lorraine.

En effet, selon Brisson et Levraut (2010), on assisterait, concernant les cultures pour le Nord-Est de la France à « une raréfaction des gelées automnales et hivernales, une dégradation du déficit hydrique climatique annuel, la régularisation interannuelle de la production du maïs dans certains sites, des opportunités accrues pour le colza liées à la diminution du risque de gel en automne et en hiver, et la possibilité d'implanter une culture du tournesol. »

Pour l'élevage lorrain en général et l'exploitation étudiée en particulier, des effets positifs se feraient également sentir, notamment grâce à l'allongement de la période de croissance de l'herbe et au maintien d'un bon niveau de production de maïs. Seuls quelques étés plus secs pourraient dégrader ce bilan globalement favorable pour la ressource fourragère de l'exploitation.

3. Options d'adaptation à l'échelle de l'exploitation et de son territoire

■ Option PE1 : Maintenir la production fourragère en optimisant les techniques culturales

Sans contrainte majeure sur le système de production, le fonctionnement de l'exploitation est peu modifié. L'agriculteur peut toutefois chercher à compenser l'éventuel ralentissement de la croissance de l'herbe sur les parcelles séchantes en été en augmentant les rendements en maïs. L'augmentation de la disponibilité thermique permettrait en effet de semer des variétés à meilleur indice, dont le potentiel peut être réalisé grâce à une pluviométrie suffisante en période estivale, associée à la mise en œuvre de techniques permettant de réduire l'évaporation – augmenter le taux de matière organique, couvrir le sol par les résidus de culture, etc. Des variétés de graminées plus résistantes à la sécheresse pourraient également être implantées sur les prairies.

Ainsi, le niveau de la ressource fourragère disponible pour le cheptel laitier, dont la production assure 75 % du revenu de l'exploitation dans sa configuration actuelle, pourrait être maintenu, voire amélioré.

■ Option PE2 : Intensifier la production laitière et développer la méthanisation, par le recours accru au maïs

Dans cette option, l'exploitant décide d'intensifier sa production laitière en augmentant la part de maïs dans l'alimentation des bovins puisque le potentiel de production de cette culture est renforcé par le changement climatique dans cette région.

Les surfaces consacrées à l'herbe sont restreintes aux seules parcelles à forte contrainte agronomique (taux d'argile important) et sont remplacées ailleurs par du maïs. La production fourragère ainsi augmentée alimente un cheptel laitier plus intensif, voire plus grand. En parallèle, un méthaniseur peut être installé afin de valoriser les effluents d'élevage produits en plus grande quantité. La chaleur dégagée par cette installation de cogénération peut être utilisée pour alimenter un séchoir, permettant éventuellement de valoriser en « grain » une partie excédentaire de la production de maïs. Enfin, pour assurer une alimentation suffisante et constante du digesteur de l'unité de méthanisation, il est envisageable d'implanter des cultures intermédiaires entre des cycles devenus plus courts. Le sorgho, facilement adaptable aux spécificités calendaires annuelles puisqu'il y a peu d'exigence de maturité, pourrait être l'une de ces « dérobées ».

Finalement, l'exploitation s'engage dans d'importants développements permettant d'augmenter la quantité de biomasse produite, valorisée à la fois par la vente, la production de lait et d'électricité.

■ Option PE3 : Diversifier les assolements et augmenter l'autonomie en protéines

Dans cette option, l'exploitant saisit pleinement les nouvelles opportunités offertes par l'augmentation des températures pour diversifier son assolement en intégrant de nouvelles cultures jusque là non adaptées au climat de la région, dans un double objectif d'augmentation d'autonomie protéique et de résilience face à d'éventuels périodes sèches.

Dans ce cadre, l'exploitant conserve ses surfaces en cultures de vente mais diminue la part de maïs dans la production fourragère. Il pourrait alors planter une culture de sorgho, en particulier sur les parcelles séchantes. Une autre part serait remplacée par du méteil, qui, récolté au stade immature en juin, apporte un supplément de protéines à la ration des bovins. Dans le même but, la réintroduction de légumineuses dans la rotation (luzerne), constituant en général un bon précédent pour le blé, peut être envisagée. Enfin, si les recherches en sélection variétale le permettent, la culture du soja pourrait également être introduite dans l'assolement.

Le nouveau système de production serait certes exigeant et complexe en termes de pilotage des cultures, mais il pourrait permettre une production de fourrage relativement constante tout en réduisant les charges de l'atelier d'élevage par une diminution des apports de concentrés – tourteaux de soja, notamment.

■ Option PE4 : Abandonner la production laitière pour privilégier les cultures de vente, dont le maïs grain

Les possibilités, offertes par le changement climatique, d'augmenter la production de certaines cultures (notamment le maïs) et d'en introduire de nouvelles, entraînent dans cette option un changement de l'orientation de l'exploitation, qui délaisse l'atelier de production laitière.

Toutes les surfaces de prairies exploitables en cultures annuelles sont utilisées pour augmenter la sole des cultures de vente, notamment en colza dont les rendements pourraient augmenter grâce à la diminution du risque de gel en automne et en hiver. Les surfaces en maïs seraient également fortement augmentées et la production entièrement valorisée en grain. L'augmentation des températures pourrait en effet autoriser une récolte à un taux d'humidité plus faible, permettant de faire l'économie du séchage avant la commercialisation. De nouvelles cultures comme le tournesol, bonne tête de rotation pour le blé, pourraient également être introduites à plus long terme. Enfin, les surfaces en prairies impossibles à mettre en culture pourraient être valorisées de façon très extensive par une production de bœufs à l'herbe.

Finalement, l'adaptation au changement climatique passe dans ce cas par une forte spécialisation en grandes cultures.

Bovin lait dans les Côtes d'Armor *

1. Diagnostic de l'exploitation et de son environnement proche

■ Caractéristiques de l'exploitation

Indicateurs	Valeurs	Remarques
UTH	2	
Assolement	SAU : 50 ha SFP : 34,5 ha (36 % maïs – 64 % herbe) Céréales : 12,5 ha + 3 ha en gel	SAU répartie en 2 îlots 25 % en culture de vente Herbe (22 ha) : 4 ha ray-grass anglais (RGA) pur ; 16 ha mélange (RGA-trefle blanc) ; et 2 ha prairies naturelles
Cheptel	39 VL Prim' Holstein 12 vaches de réforme, 4 bœufs	57 UGB totaux 1,7 UGB/ha SFP (chargement plutôt fort)
Quota laitier	300 000 litres	8700 litres/ha SFP (6 000 litres/ha SAU) 7 700 litres/VL
Autres productions	Cultures de ventes Quelques bœufs sur prairies	Céréales : production 100 tonnes/an
Alimentation	Pâturage et foin (167 tonnes MS/an) Maïs ensilage (150 tonnes MS/an) Concentrés (38 tonnes/an)	Concentrés : 68 % tourteaux soja-colza ; 32 % céréales
Rotations / Cultures	Herbe/maïs sur îlot proche Blé/maïs sur îlot éloigné	Terres de bon potentiel Couverts végétaux
Parc matériel	3 tracteurs (130/90/70 CV)	Co-propriété et CUMA (pour la récolte)
Bâtiments	Stabulation VL logettes (56 places) Stabulation génisses et bœufs (35 places en aire paillée)	Taux d'occupation : 78 % (possibilité d'augmenter le troupeau)
Atouts / points forts	Maîtrise technique de l'herbe / optimisation des charges Taux de réforme faible	Produire du lait avec des fourrages (en particulier le pâturage) 120 g de concentré/litre de lait
Contraintes / points faibles	40 ha de surface d'épandage Temps d'astreinte en hiver (44 heures)	Valeur inférieure à la moyenne des élevages du réseau d'élevages lait Bretagne
	Gestion de l'azote et du phosphore	Bilan de l'azote : + 80 kg N/ha (inférieur à la moyenne régionale)

Source : Réseaux d'élevage (Chambres agriculture / IDELE), cas concret n° 1 « Du lait par vache avec du pâturage », 2007.

■ Ateliers de production et résultats économiques ¹

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Produit total 488 €/1000 L (soit 145 000 €/an)		
Lait	60 % du produit total	289 €/1000 L
Cultures	10 %	51 €/1000 L
Viande	17 %	84 €/1000 L (primes incluses)
DPU	13 %	64 €/1000 L (25 % de l'EBE)
Charges du troupeau 133 €/1000 L (dont 1/3 de charge alimentaire)		
EBE 261 €/1000 L (soit 78 000 €/an) avant main-d'œuvre (moyenne pour ce type d'élevage : 190 €/1000 L)		
Charges financières	85 €/1000 L	
Dispo. Travail / autofinancement	176 €/1000 L	Soit 53 000 €/an
Atout	Très bonne maîtrise des charges (troupeau et cultures)	Taux de renouvellement du troupeau faible

Source : Réseaux d'élevage (Chambres agriculture / IDELE), cas concret n° 1 « Du lait par vache avec du pâturage », 2007.

À la lumière des éléments présentés ci-dessus, l'exploitation paraît posséder une bonne maîtrise technique et économique. Il faut toutefois signaler que les données économiques proposées, relatives à l'année 2007, peuvent fortement varier d'une année à l'autre en fonction de l'évolution des prix agricoles et sont donc à considérer avec prudence.

■ Contexte local

Territoire et agriculture ²

Les Côtes d'Armor comptent environ 10 000 exploitations (- 30 % en 20 ans) pour une SAU totale de 440 000 ha et une SAU moyenne par exploitation de 54 ha (+100 % en 20 ans). L'agriculture du département représente 30 % du chiffre d'affaires de l'agriculture bretonne. Les productions animales représentent près des trois quarts de la valeur de la production agricole du département (porcins 28 % – 1/3 du cheptel breton ; œufs/volailles 23 % – premier département français ; lait 20 % ; bovins 10 %).

La production laitière du département compte près de 4 400 exploitations (1/4 des exploitations bretonnes et des livraisons de lait). Le secteur laitier traverse des années difficiles.

La production de légumes frais et de pommes de terre concerne environ 16 000 ha (4 % de la SAU).

* Cette fiche, rédigée en février 2012, est le résultat des contributions de Sylvain Doublet, André Le Gall, Clément Villien et Jean-Louis Durand (INRA Lussignan).

1. Résultats économiques de 2007.
2. Source : DRAAF Bretagne, données 2009.

Éléments paysagers et agro-environnementaux du territoire

Les unités pédo-paysagères sont hétérogènes dans le département des Côtes d'Armor. Deux unités dominent : le massif du Mené (Granite) et le Plateau du Penthièvre (limons éoliens, schistes, zones de sols hydromorphes). Le massif du Mené est dominé par l'élevage dans un paysage de bocage dense (altitude élevée et pente moyenne). Le Plateau du Penthièvre est un mix entre des plaines avec bocage déstructuré (ragosses) et des plateaux (pentes faibles – versant long) avec des paysages ouverts (bocage résiduel).

D'un point de vue agroenvironnemental :

- classement en zone vulnérable et en ZES (40 cantons sur les 51 du département sont en ZES);
- une grande partie des masses d'eau (cours d'eau et nappes) nécessite la mise en place d'actions pour réduire les concentrations en nitrates et en pesticides;
- la baie de Saint-Brieuc est une des huit baies de la région touchées chaque année depuis 1998 par des marées vertes³;
- l'aléa érosion est moyen sur le département mais localement fort (sud du département, autour de Loudéac);
- la densité de bocage est moyenne à élevée.

Sols

Pour le cas type bovin lait, l'unité retenue est le Plateau du Penthièvre. Ces sols, parfois hydromorphes, ont une valeur agronomique moyenne (faible fertilité chimique, taux de MO faible, légère acidité, réserve utile de 150 mm).

Caractéristiques des sols de Côtes d'Armor

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Unité pédo-paysagère	Plateau du Penthièvre	
Pente	Moyenne à faible	Risques d'érosion forts sur quelques points (coulées de boues)
Texture	Limons et limons sableux	Limons éoliens
Fertilité chimique	Fertilité chimique faible	CEC : 8-12 cmol/kg valeur faible Taux de saturation moyen à faible pH de 6-7, légèrement acide
Carbone organique	< 15 g/kg (50 à 60 t/ha)	Valeurs faibles (2 à 3 % MO) Stable ou en augmentation (entre 1990 et 2004)
Sensibilité à la battance	Faible	
Hydromorphie	20 % des sols	
Réserve utile	Moyenne	150 mm
Autres paramètres	Cuivre (EDTA)	Valeur haute (5 à 7 mg/kg) d'où impact négatif sur la fertilité du sol (impact négatif sur les micro-organismes et les vers de terre + phytotoxicité)

Source : GIS Sol.

Climat (Saint-Brieuc)

Saint-Brieuc est soumise à un climat doux (température moyenne annuelle de 11 °C), de type océanique, caractérisé par une atténuation des températures extrêmes et une grande instabilité des types de temps. La ligne de crêtes qui correspond à la ligne de partage des eaux, peu éloignée de la côte, est aussi une limite climatique (pluviométrique et thermique). L'influence maritime affaiblit les amplitudes thermiques journalières et annuelles (température maximale moyenne de 14,4 °C; température minimale moyenne de 7,6 °C). Les températures minimales moyennes sont atteintes en février (2,3 °C) et les maximales moyennes en août (20,1 °C). Les jours de gel sont rares et les températures inférieures à moins 7 °C brèves et exceptionnelles.

La baie de Saint-Brieuc est une des régions les moins arrosées de Bretagne avec une pluviométrie annuelle moyenne d'environ 700 mm. Les pluies décroissent de février à juin pour atteindre leur minimum en juillet (28 mm). Les mois de décembre et janvier sont les plus arrosés (83 et 76,3 mm), ces moyennes cachant une grande variabilité. Les pluies sont peu abondantes, les orages sont rares, et la neige est exceptionnelle.

La ressource en eau en Bretagne et dans les côtes d'Armor

La faible perméabilité du sous-sol breton, peu propice au développement de grandes nappes aquifères, fait naître une multitude de sources et ruisseaux que la topographie organise en un réseau extrêmement dense. La quasi-totalité des rivières bretonnes prend naissance dans les collines du Centre-Ouest Bretagne, qui constituent le « château d'eau » de la région. Les cours d'eau y sont vifs avec un régime régulier alors que dans les secteurs en aval, plus plats, ils ont un cours plus lent avec un régime plus irrégulier.

La Bretagne est dépourvue de grands fleuves et ne possède pas de larges vallées alluviales. La Vilaine, l'Aulne et le Blavet possèdent les bassins hydrographiques les plus importants. Le nord de la région comporte de nombreux petits fleuves côtiers débouchant dans la Manche dans des rias encaissées (Frémur, Arguenon, Gouessant, Trieux, Leff, Jaudy, Léguer, Douron, Queffleuth, Penzé, etc.).

Les climats océaniques littoraux se caractérisent par une amplitude thermique très faible, des vents forts accompagnés d'embruns, un ensoleillement estival élevé, des précipitations annuelles de moins de 800 mm et un déficit hydrique estival marqué.

Les rivières des côtes d'Armor sont fréquemment déficitaires en eau de mai à août avec des étiages sévères. L'absence de phénomènes extrêmes (orages, neige) implique que les débits des cours d'eau sont très largement tributaires de la pluviométrie directe. En 2011, les déficits ont été très marqués avec notamment des déficits de 10 à 50 % en juillet et des cours d'eau asséchés en octobre (dans l'Est du département). En l'absence de nappes importantes dans le département, les rivières sont les principales ressources en eau.

3. Source : SDAGE du bassin Loire Bretagne 2010-2015.

2. Effets du changement climatique sur le système d'exploitation

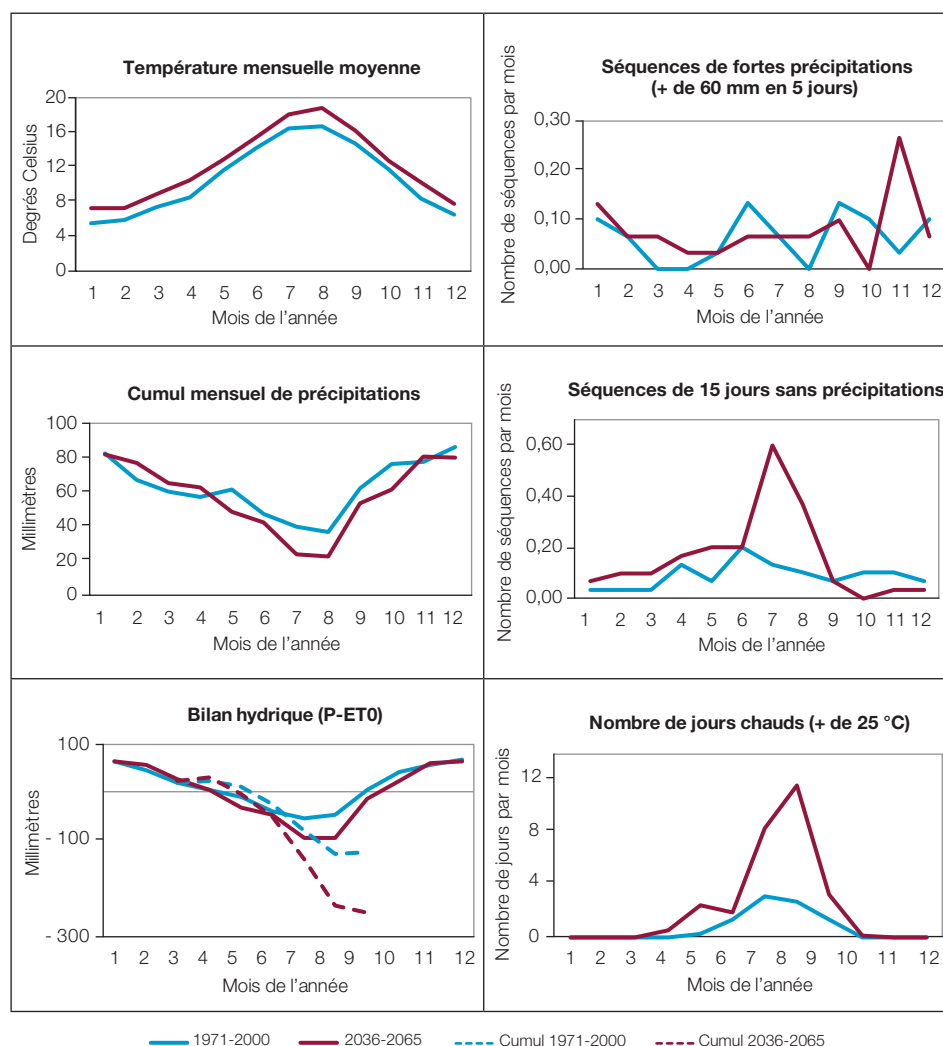
Description du changement climatique et des impacts attendus

Les données suivantes sont issues de simulations climatiques mensuelles réalisées spécifiquement pour cet exercice à partir de données Météo-France. Elles concernent d'une part une période de référence centrée en 1985 allant de 1971 à 2000. D'autre part, elles concernent une période future centrée en 2050 (l'horizon temporel de la présente étude prospective) allant de 2036 à 2065.

La comparaison entre les périodes 1971-2001 et 2036-2065 à Saint-Brieuc montre :

- une augmentation des températures homogène sur l'année;
- un cumul de pluie qui se dégrade nettement d'avril à août, ainsi qu'en octobre;
- un déficit hydrique (P-ETO), plus marqué de juin à septembre, en particulier en juillet et août;
- un nombre de jours échaudants très important de juin à septembre;
- une forte augmentation du nombre de séquences de 15 jours sans pluie de juin à septembre;
- des séquences de forte pluviométrie de plus en plus fréquentes en novembre.

Station de Saint-Brieuc

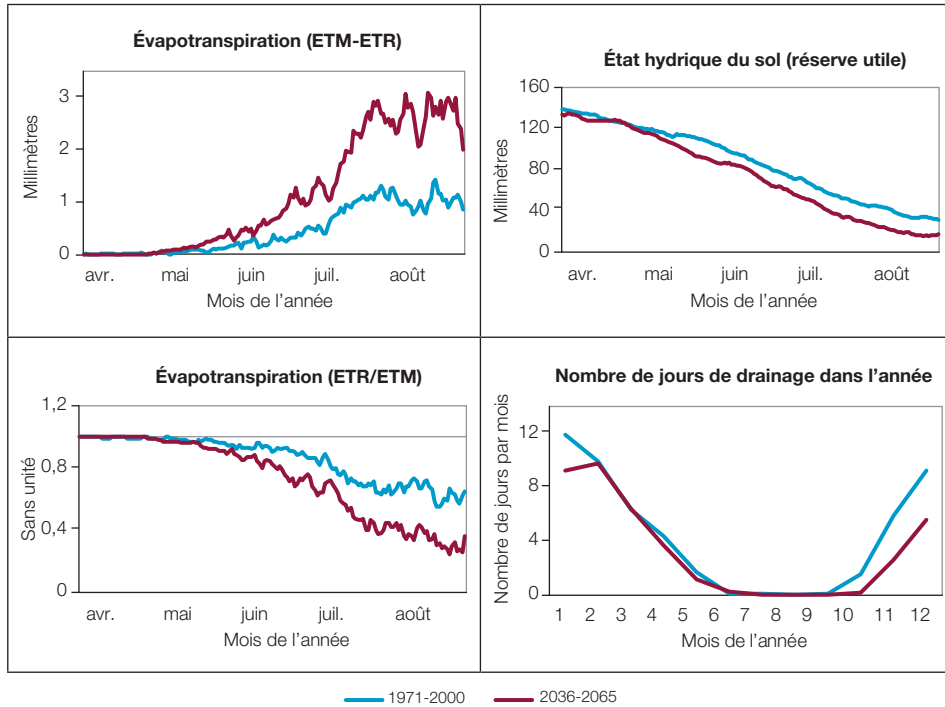


Avec une prairie (approchée par un « gazon régulièrement entretenu » dans le modèle), sur un sol dont la réserve utile est de 150 mm, on constate :

- un confort hydrique de l'herbe qui se dégrade de mai à août (avec un ratio ETR/ETM inférieur à 0,4 à partir de juillet);
- des besoins en eau supplémentaires de l'ordre de 100 mm (ETM-ETR) de mai à août pour limiter l'impact d'un stress hydrique sur le rendement ;

- un état de la réserve hydrique qui se dégrade régulièrement de mai à août (15% de remplissage en août en 2036-2065 contre 25% en 1971-2000);
- une restitution au milieu (nombre de jours de drainage) qui diminue de 20% entre les deux périodes étudiées (50 jours pour 1971-2000 et 40 jours en 2036-2065), renforçant les étages sévères.

Herbe - Principaux indicateurs de l'état hydrique du couvert (RU : 150 mm)

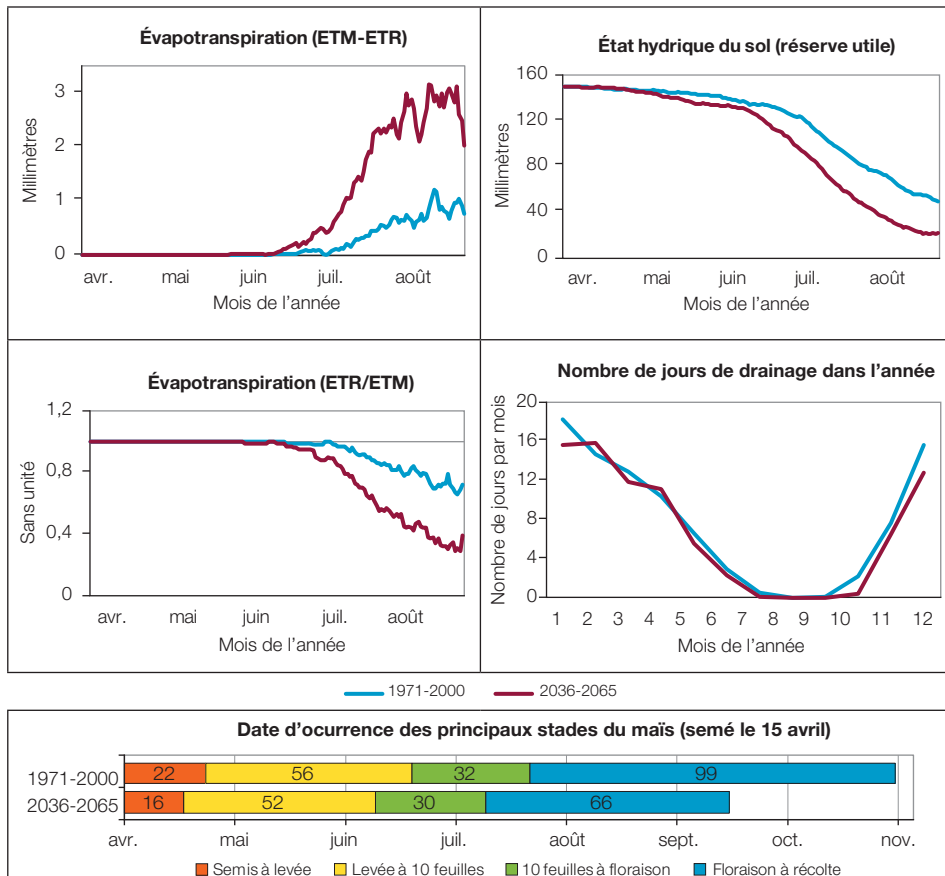


En prenant comme modèle une culture de maïs (sans changement de variété) et un sol dont la réserve utile est de 150 mm, on constate :

- un confort hydrique qui se dégrade de juin à août (avec un ratio ETR/ETM inférieur à 0,4 en août);
- des besoins en eau supplémentaires de l'ordre de 100 mm (ETM-ETR) de juin à août pour limiter l'impact d'un stress hydrique sur le rendement ;

- un état de la réserve hydrique qui se dégrade régulièrement de mai à août (15% de remplissage fin août);
- une restitution au milieu (nombre de jours de drainage) qui diminue de 10% entre les deux périodes étudiées, renforçant les étiajes sévères.

Maïs - principaux indicateurs de l'état hydrique du couvert (RU : 150 mm)



Effets attendus du changement climatique sur les cultures du système étudié

Prairies

Effets du CC sur ↓	Description
Durée des cycles culturaux	Démarrage plus précoce Déficit hydrique estival pouvant impacter la production de façon importante avec surtout davantage d'aléas (Acta-Mires, 2009).
Conditions de semis, récolte	On pourrait avoir des problèmes de portance à l'automne, rendant le pâturage difficile alors qu'il devrait y avoir de l'herbe (Acta-Mires, 2009).
Rendements	Évolution de la pousse de l'herbe : Hiver : + 20 % soit 300 kg MS/ha ; Printemps : + 10 % ; Été : - 40 % ; Automne : - 3 % Au final, le rendement à l'année est quasiment inchangé, passant de 7,7 tonnes MS/ha à 7,6 tonnes MS/ha. Mais le caractère aléatoire de la pousse estivale devrait s'amplifier (Acta-Mires, 2009). Au final, le déséquilibre entre surproduction d'herbe en hiver-printemps et manque de fourrages en été-automne devrait être accentué. Toutefois, au-delà du changement climatique, la plus grande source de variation des rendements reste la variabilité climatique inter-annuelle (Brisson et Levraut, 2010).
Qualité des récoltes	Baisse potentielle de la teneur en azote des prairies (plus pour le RGA que la fétuque) par effet de dilution dû à l'augmentation des rendements (Brisson et Levraut, 2010).
Disponibilité en eau	État hydrique annuel des prairies globalement dégradé – dû à une augmentation de la demande et une diminution des précipitations en été (Brisson et Levraut, 2010).
Aléas, destruction des récoltes	Des sécheresses assez marquées en période estivale peuvent avoir des conséquences néfastes sur l'état des prairies. D'une part, la production d'herbe estivale serait drastiquement diminuée, voire nulle. D'autre part, sans aller jusqu'à provoquer la mort du couvert, le manque d'eau ayant entraîné l'arrêt de la croissance végétative, le potentiel de production d'automne s'en trouverait altéré, pouvant nécessiter un renouvellement complet des prairies. Ceci est particulièrement valable pour les prairies mono-spécifiques avec des graminées de milieu tempéré (type RGA), alors incapables de surmonter la concurrence d'espèces adventices (auteurs). Des améliorations génétiques de cette espèce sont avérées et encore possibles (Sampoux <i>et al.</i> , 2010).
Autre	La fétuque, par son enracinement profond, semble moins sensible à la sécheresse que le RGA (Brisson et Levraut, 2010). Dans les sols les plus superficiels, le dactyle pourrait aussi remplacer le RGA.

Cultures annuelles : maïs fourrage

Effets du CC sur ↓	Description
Durée des cycles culturaux	L'augmentation des températures accélère la pousse, d'où un raccourcissement du cycle cultural (auteurs).
Rendements	Sans action d'adaptation, baisse potentielle du rendement de l'ordre d'1 tonne de MS/ha (Acta-Mires, 2009). Rendement relativement stable ou en légère diminution (à Rennes). Dans le même temps, on projette une forte augmentation du rendement du sorgho (+2,2 tonnes/ha en futur proche, et +4 tonnes/ha en futur lointain) (Brisson et Levraut, 2010).

Effets du CC sur ↓	Description
Disponibilité en eau	Le bilan hydrique dégradé en période estivale pourrait ne plus satisfaire les besoins en eau du maïs, <i>a minima</i> durant les années de sécheresse marquée. Cet effet serait plus important encore si des variétés tardives sont semées dans le but de capter le surplus de rayonnement disponible en été (auteurs). L'absence de ressource souterraine rend difficilement envisageable l'irrigation en période estivale (seulement possible si l'on avait recours à des retenues collinaires) (auteurs).
Aléas climatiques, destruction des récoltes	Risques de chutes du rendement lors des périodes de forte sécheresse (auteurs).

Cultures annuelles : blé

Effets du CC sur ↓	Description
Conditions de semis, récolte	Variation de la date de semis du 20 septembre au 1 ^{er} décembre entraînant des baisses de rendements par augmentation du stress hydrique et thermique en fin de période (Brisson et Levraut, 2010).
Rendements	Augmentation des rendements en zone ouest (zone CLIMATOR) par réduction des pertes hydriques. Baisse due au décalage de la date de semis. Rendement relativement stable au final (station de Rennes) (Brisson et Levraut, 2010).
Bioagresseurs	Diminution de l'occurrence de la rouille et de la septoriose (Brisson et Levraut, 2010).

Synthèse : effet du changement climatique sur le système d'exploitation

En résumé, la situation dans le futur proche devrait ressembler de ce qui est actuellement observé dans les Pays-de-la-Loire, avec un déficit hydrique estival marqué.

La pousse de l'herbe estivale (de juin à septembre) devrait ainsi être significativement impactée (de près de 50%), rendant nécessaire la distribution de fourrages stockés sur cette période. Elle sera aussi beaucoup plus aléatoire et exigera de calibrer correctement le niveau des stocks fourragers pour faire face à cet aléa. Inversement, la croissance de l'herbe en hiver devrait être plus importante, rendant possible le pâturage sur cette période, sous réserve que les conditions de portance le permettent. La pousse d'herbe de printemps sera plus précoce et il faudra adapter la gestion du pâturage en conséquence. Finalement, à l'échelle de l'année, la production d'herbe devrait rester stable ou en légère diminution selon les espèces, tout en nécessitant un décalage des périodes de valorisation au champ et la constitution de stocks plus importants.

Le rendement du maïs en zone ouest devrait rester relativement stable, alors qu'il sera globalement en diminution dans ses grandes zones de culture actuelles (Sud-Ouest, Poitou-Charentes, Limagne, Alsace). On peut toutefois envisager des pertes importantes les années marquées par une sécheresse estivale. Il existe donc certaines incertitudes quant aux capacités de maintien de la production de maïs au niveau actuel.

Les baisses de rendement de blé dues à l'augmentation du stress hydrique et thermique en fin de période et au décalage des dates de semis pourraient être compensées par la réduction des pertes dues à une diminution de la pression fongique

(rouille, septoriose).

3. Options d'adaptation à l'échelle de l'exploitation et de son territoire

La production laitière de l'exploitation étudiée repose en grande partie sur une alimentation par de l'ensilage de maïs. Or, cette culture pourrait être pénalisée par le changement climatique. Son impact réel sur la production de maïs reste toutefois incertain. Plusieurs situations contrastées, de la plus favorable à la plus défavorable, sont donc prises en compte dans le jeu d'options d'adaptation de l'exploitation présenté ci-dessous.

■ Option BL1 : Valoriser le surplus hivernal d'herbe et ensiler une partie des céréales pour compléter la ressource fourragère

Tout en continuant de bénéficier d'apports fourragers en maïs importants, dans le cas où les besoins en eau de cette culture peuvent être satisfaits, il s'agirait d'adapter les modes d'exploitation de la ressource herbagère au décalage des périodes de pousse induit par le changement climatique et de mobiliser la ressource en céréales les années difficiles.

Concrètement, il s'agira de valoriser la croissance d'herbe supplémentaire de fin d'automne, d'hiver et de début de printemps, notamment par le pâturage. La disponibilité de ce surplus de production pourrait toutefois être limitée par des précipitations devenues plus importantes, entraînant de mauvaises conditions de portance des prairies. L'aménagement et l'entretien des accès aux parcelles devra donc être bien assuré (chemins de bonne qualité, parcellaire organisé, etc.). La gestion de l'alimentation au cours des périodes estivales sèches, devenant plus fréquentes, plus longues, voire plus prononcées, devra être adaptée, en particulier par le recours à des stocks plus importants constitués pendant les périodes de forte production d'herbe. Les besoins en fourrages pourraient également être complétés par un ensilage de céréales immatures, récoltées au stade laiteux-pâteux, convenant bien aux animaux en croissance ou aux vaches laitières lorsqu'il est associé à de l'ensilage d'herbe. Il s'agit ainsi de miser sur la complémentarité avec les céréales à paille récoltées en grains dans des conditions favorables et ensilées en cas de printemps « séchant ».

Finalement, sans modification de sa structure, l'exploitation devra optimiser la gestion de ressources déjà exploitées, dont les quantités restent relativement stables, pour satisfaire les besoins fourragers de son cheptel laitier.

■ Option BL2 : Développer les cultures fourragères résistantes à la sécheresse, comme les prairies multi-spécifiques

Dans un contexte où le manque d'eau prononcé entraînerait une diminution drastique, voire l'abandon de la production de maïs ainsi qu'une forte diminution de la production d'herbe des types de prairies actuellement implantées (RGA notamment), l'exploitation pourra avoir recours à des cultures plus résistantes à la sécheresse et diversifier ses assolements pour continuer à satisfaire les besoins en fourrages nécessaires à sa production laitière.

Le ray-grass d'Italie (ou hybride), plante quasi-annuelle, pourrait se substituer au maïs fourrage. Associé à des légumineuses, il pourrait tout à fait profiter des conditions plus douces et humides de l'automne, d'hiver et de début de printemps, permettant une production importante avant le déficit hydrique estival. La luzerne, dont la production croît actuellement, notamment en Bretagne (Acta-Mires, 2009), pourrait également être mobilisée. Il en va de même des prairies multi-espèces, composées de graminées et légumineuses donnant des productions inter-annuelles assez régulières. Bien que présentant de plus faibles valeurs fourragères, la fétuque ou le dactyle, plus résistants à la sécheresse, pourront être utilisés dans la composition des prairies multi-spécifiques. Enfin, selon les avancées de la sélection variétale, l'implantation de sorgho, dont les rendements projetés apparaissent à la hausse (Brisson et Levrault, 2010) pourrait être envisagée.

Finalement, la forte diversification pourrait augmenter la résilience du système de cultures et donc la régularité de la production fourragère. Il y a cependant peu de visibilité sur les niveaux de production atteignables, si bien que l'exploitant pourrait être contraint d'adapter à la baisse la taille de son cheptel.

■ Option BL3 : Diminuer la spécialisation laitière par le développement des cultures de vente céréalières

Les incertitudes pesant sur les capacités d'approvisionnement en fourrage pourraient amener l'agriculteur à revoir l'orientation de son exploitation en diminuant drastiquement, voire en abandonnant, la production laitière. La part des cultures de vente dans l'assolement serait donc étendue, en substitution partielle ou totale des surfaces précédemment destinées au maïs fourrage. La production céréalière pourrait être destinée à la production d'alimentation animale pour les élevages de monogastriques de la région, dont les effluents pourraient être épanchés sur les surfaces en culture de l'exploitation. Cette « céréalisation » de l'exploitation pourrait toutefois être limitée face à la difficulté de mettre en culture certaines parcelles aujourd'hui implantées en prairies. L'exploitant serait donc contraint de maintenir un petit atelier d'élevage bovins-lait, voire bovins-viande pour continuer à valoriser ces surfaces.

Forêt irrégulière de hêtre en Haute-Saône*

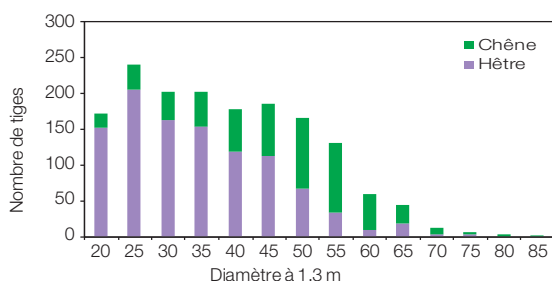
Le cas étudié se situe en forêt privée, dans le département de la Haute-Saône et couvre une surface de 80 hectares.

1. Diagnostic de l'unité de gestion forestière et de son environnement proche

■ Caractéristiques de l'unité de gestion forestière

Les peuplements sont principalement des anciens taillis sous futaie traités depuis une trentaine d'années en futaie irrégulière de hêtre en mélange avec du chêne et du sapin pectiné. Le hêtre est l'essence dominante de cette forêt, cependant d'autres types de peuplements sont également présents : futaies irrégulières à dominance de chêne et futaies irrégulières à dominance de sapin. Cette forêt n'a pas connu de problème sanitaire majeur, mis à part deux vagues de mortalité du hêtre associées à l'infection par un champignon (l'amadouvier).

Figure 1 : Exemple de répartition des effectifs de hêtre et de chêne en classes de diamètre dans une parcelle d'une superficie de 13 hectares



Source : auteurs.

Futaies irrégulières de hêtre en mélange avec du chêne sessile, quelques sapins et quelques érables

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Surface	60 ha	75 % de la surface totale, dont 5 hectares où le chêne est l'essence dominante
Origine des peuplements	Régénération naturelle	
Age du peuplement	Variable en fonction des arbres	
Historique de gestion	Jusqu'au début du XX ^e siècle, traitement en taillis sous futaie avec des révolutions de 25 ans, pour l'alimentation d'une verrerie puis d'une forge. Puis, jusqu'en 1945, utilisation pour la fabrication de charbon de bois et de bois de chauffage. Ensuite, traitement en futaie sur taillis avec enrichissement de la futaie et vieillissement du taillis jusqu'en 1975. Depuis 1975, gestion en futaie claire irrégulière et mélangée	

* Cette fiche, a été rédigée en avril 2012, par Anne-Sophie Sergent, avec les contributions des experts forestiers du groupe AFCLim et d'experts extérieurs : Alain Chavane (expert forestier, AFI) et Max Brucciamachie (ENGREF).

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Itinéraire sylvicole envisagé jusqu'à l'exploitation		Coupe de bois d'œuvre tous les 8 ans et une coupe de bois d'industrie tous les 8 à 12 ans avec un ou deux passages intermédiaires pour détourer ou éclaircir les arbres de faible dimension. Surface terrière maintenue entre 12 et 20 m ² /ha. Les arbres pour le bois d'œuvre sont coupés lorsque le diamètre d'exploitabilité (de 45 à 70 cm) est atteint et selon trois critères : l'état sanitaire, la concurrence et la régénération

Futaies irrégulières de sapin en mélange avec du hêtre et du chêne sessile

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Surface	20 ha	25 % de la surface totale
Origine des peuplements	Régénération naturelle	Peuplements issus de la première ou de la deuxième régénération naturelle de sapins plantés en bouquets ou en alignements dans les années 1980
Age du peuplement	Variable en fonction des arbres	
Historique de gestion		Coupes progressives de la deuxième génération de sapins lorsqu'ils avaient atteint le diamètre d'exploitabilité (50/60 cm)
Itinéraire sylvicole envisagé jusqu'à l'exploitation		Coupe de bois d'œuvre tous les 8 à 12 ans avec un ou deux passages intermédiaires pour détourer ou éclaircir les arbres de faible dimension. Surface terrière conservée entre 12 et 20 m ² /ha. Bois coupé lorsque le diamètre d'exploitabilité (50/60 cm) est atteint

Atouts	Mélange d'essences qui permet de limiter les risques, mais qui peut aussi rendre la gestion plus délicate	
Contraintes	Pression importante du gibier sur la régénération, notamment celle du chêne. Le maintien du chêne est difficile et demande une gestion attentive	

Source : Association Forêt Irrégulière.

■ Productions et résultats économiques

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Productivité	Hêtre - 5 m ³ /ha/an Sapin - 8 à 9 m ³ /ha/an	Productivité en bois d'œuvre
Prix moyen de vente sur pied	Hêtre - 40 à 50 €/ m ³ Sapin - 50 à 60 €/ m ³ Bois de chauffage - 10€/ m ³	Ventes dissociées entre les espèces et les qualités pour optimiser le prix de vente
Coûts	45 €/ha/an	
Recettes	300 €/ha/an	
Bénéfice annuel	255 €/ha/an	
Taux interne de rentabilité	NR	
Revenus non forestiers	NR	Location de la chasse
Atouts	Bois vendu sur pied sans problèmes de débouchés Bonne desserte et bon cloisonnement facilitant l'exploitation Peu de frais de travaux	

Source : Gestionnaire et Association Forêt Irrégulière.

Fin 2005, de la sylviculture au commerce de bois, la filière bois en Franche-Comté regroupait environ 3 200 établissements et 10 500 salariés. Elle rassemblait ainsi 3,4 % des établissements et 2,9 % de l'emploi salarié de la filière bois en France métropolitaine¹. Dans cette région, la hêtraie représente 19 % des surfaces boisées. Le marché du hêtre dans la région, comme à l'échelle nationale, connaît depuis plusieurs années une période de crise due à différents facteurs : conséquences de la tempête de 1999, diminution des exportations, concurrence des autres bois et matériaux, etc. En 1999, le cours du hêtre sur pied avait atteint des valeurs proches de celles du chêne. Il a subi par la suite une chute brutale et sans précédent. Cette essence est désormais considérée comme un produit industriel courant. La production brute de hêtre en France est en progression régulière alors que le volume de sciage de hêtre produit par les scieries françaises est en baisse continue (Rubio et Marquette, 2007).

■ Contexte local

Éléments paysagers et contexte forestier²

Le cas étudié se situe dans la région forestière de la Vôge. Dans cette région, le paysage est constitué de vallons fortement boisés. Les peuplements sont le plus souvent des mélanges de futaies ou de taillis de feuillus (hêtres et chênes). Bien que située sur le trajet de la tempête de 1999, cette région a été peu touchée comparativement aux régions voisines (seuls 4 % des peuplements ont subi des dommages sévères). Cette région se situe dans la sylvoécocorégion des Collines pré-vosgiennes et Warndt, dont le taux de boisement est de 44 %. La surface couverte par la forêt est de 172 000 ha. Elle est à 63 % privée. Les peuplements de hêtres sont majoritaires et couvrent près de 68 000 hectares.

Éléments environnementaux

Cette forêt se situe dans une zone Natura 2000 caractérisée notamment par le groupement d'habitats d'intérêt communautaire de la hêtraie-chênaie continentale. Cette zone abrite de très nombreuses espèces d'oiseaux inscrites et quelques espèces végétales d'intérêt communautaire. Dans les documents d'objectifs, plusieurs menaces pour le groupement d'habitats de la hêtraie-chênaie continentale ont été identifiées. Il s'agit de l'acidification et de la modification du cortège floristique (surtout suite à la plantation de résineux), de l'engorgement de certains sols lors de la régénération, de l'introduction d'essences allochtones et de la disparition du chêne. Plusieurs recommandations de gestion sont proposées :

- le traitement sylvicole en futaie régulière ou irrégulière par bouquets, pour conserver le chêne sessile ;
- le mélange d'essences autochtones ;
- la régénération naturelle d'essences autochtones faisant partie du cortège de l'habitat ; éviter les plantations ;
- ne pas introduire d'essences allochtones ;
- remplacer les peuplements d'essences allochtones par des peuplements à base de chêne sessile et hêtre soit (1) en réalisant des éclaircies fortes afin de

favoriser l'installation de semis et de la végétation d'accompagnement, puis par des dépressages et des éclaircies sélectives, ou soit (2) en transformant par plantation, en favorisant la diversité d'espèces et en pratiquant des éclaircies pour les jeunes peuplements³.

La forêt est traversée par un sentier pédestre et équestre peu fréquenté.

■ Caractéristiques stationnelles, pédologiques et climatiques du cas d'étude

Caractéristiques stationnelles⁴

La forêt se situe sur un plateau à 400 mètres d'altitude. La géologie est caractérisée par un socle cristalin sur lequel repose des grès à Voltzia et, dans une moindre importance, des grès intermédiaires et des grès vosgiens. Le sol est assez profond, frais et de texture sablo-limoneuse à limono-sableuse avec l'apparition d'argile en profondeur. L'humus est de type mull acide. Le pH est compris entre 4,5 et 5. La réserve utile est en moyenne de 150 mm et il n'y a pas de contrainte à l'enracinement.

Caractéristiques climatiques

Le climat est de type atlantique dégradé à tendances continentales. La pluviométrie est élevée et les conditions hivernales sont assez rigoureuses.

Climat moyen période 1970-2000 pour la station de Bains-les-Bains (Vosges)

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Pluviométrie annuelle	1192 mm	Pluviométrie élevée
Pluviométrie estivale	263 mm	Bonne répartition annuelle
Température moyenne annuelle	9,3°C	Température moyenne assez basse
Nombre de jours/Slide gel	96 jours	Nombre de jours de gel important
Bilan hydrique climatique	+ 550 mm	Bilan hydrique climatique positif

Source : Météo-France

2. Effets du changement climatique sur la forêt

■ Description du changement climatique

Évolution du climat moyen et des événements climatiques extrêmes (canicule, gels intenses)

Les données suivantes sont issues de simulations climatiques mensuelles réalisées spécifiquement par Météo-France pour cet exercice. Elles concernent trois périodes : une période de référence centrée sur 1985 allant de 1971 à 2000 (Passé récent), une deuxième période future centrée sur 2035 allant de 2021 à 2050 (Futur proche) et une troisième période future centrée sur 2085 allant de 2071 à 2100 (Futur lointain). Elles présentent l'évolution future du climat moyen et des événements climatiques extrêmes (canicule, gels intenses).

1. Source : Agreste Franche-Comté.
2. Source : IFN.

3. Source : MNHN.
4. Source : Plan simple de gestion.

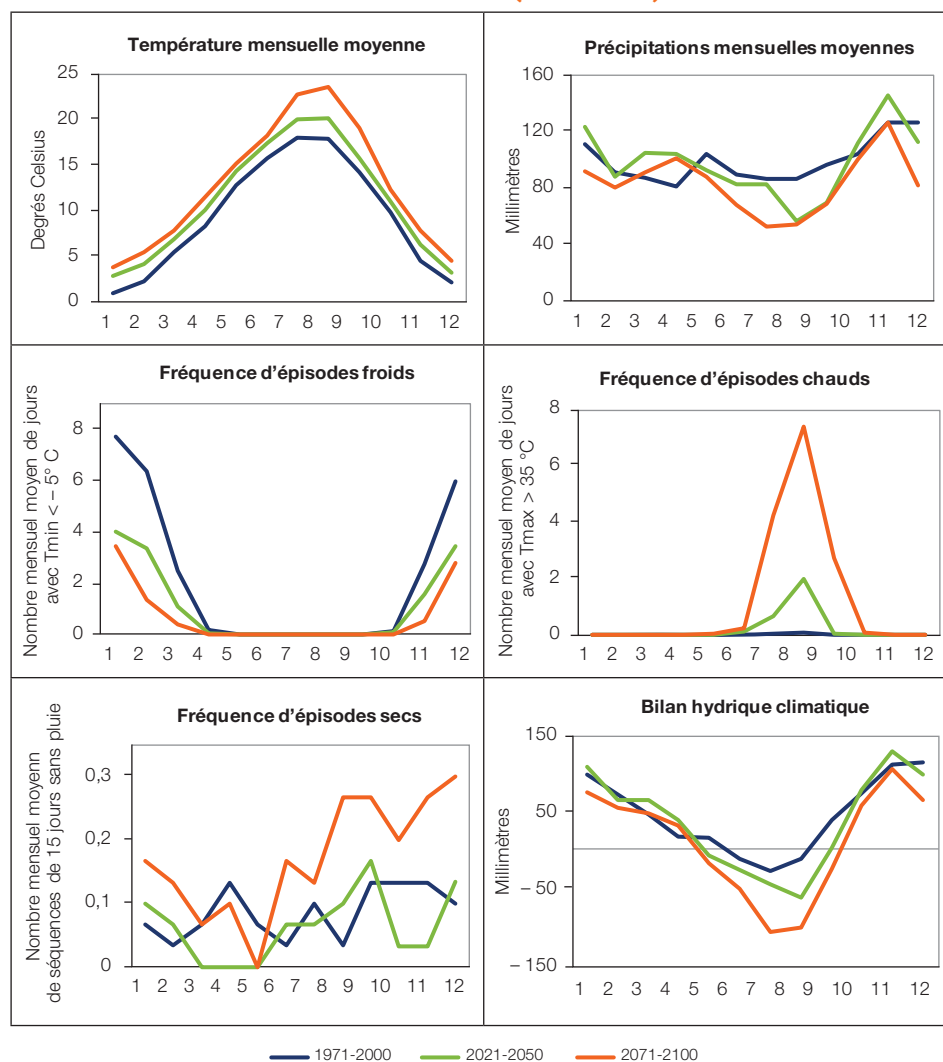
Évolution future du climat moyen pour la station de Bains-les-Bains (Vosges)

Indicateurs	Valeurs (en évolution)		Remarques
	De 1985 à 2035	De 1985 à 2085	
Température annuelle	+ 1,7°C	+ 3,4°C	Augmentation importante de la température moyenne
Nombre de jour de gel	- 20 jours	- 34 jours	Réduction importante du nombre de jours de gel
Pluviométrie annuelle	- 13 mm	- 181 mm	Pas de réduction significative en 2035 (1 %) et une réduction de 15 % en 2085
Pluviométrie estivale	- 40 mm	- 86 mm	Une réduction de 15 % en 2035 et de 33 % en 2085
Bilan Hydrique	- 91 mm	- 389 mm	Réduction importante du bilan hydrique climatique mais qui reste positif à l'horizon 2085

La comparaison entre les périodes 1971-2001, 2021-2050 et 2071-2100 montre :

- une augmentation des températures moyennes dès le futur proche et qui s'accroît à l'horizon 2085. La différence de température moyenne par rapport à la période de référence (1971-2000) est plus marquée en été (juillet-août) à l'horizon 2085 ;
- une diminution du nombre de jours de gel et de la fréquence de gels intenses ;
- une augmentation très importante du nombre de jours où les températures maximales dépassent les 35°C et un étalement de la période d'occurrence de ce phénomène.
- une réduction des précipitations assez limitée sur l'année à l'horizon 2085, mais plus marquée au cours de la période estivale (de mai à septembre) ;
- pour le futur lointain, dégradation importante du bilan hydrique climatique, particulièrement marquée de mai à septembre.

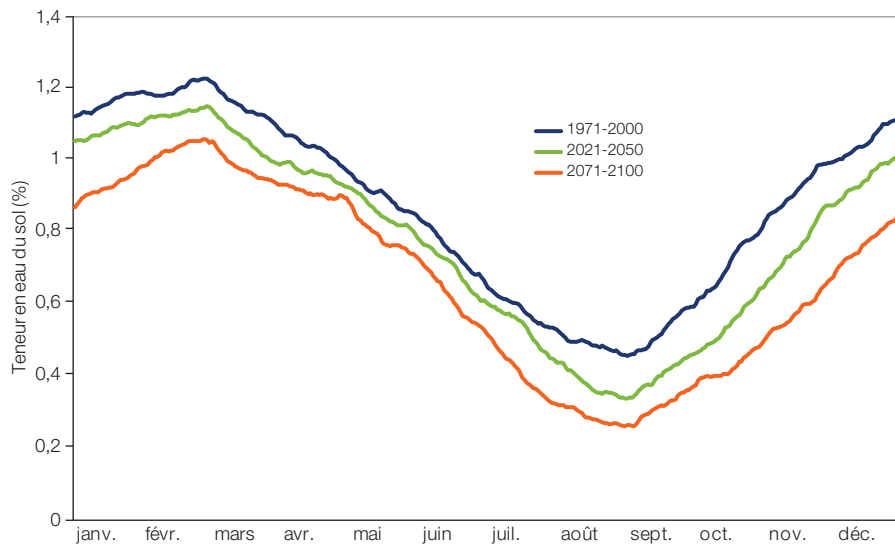
Figure 2 : Évolution mensuelle des principaux indicateurs météorologiques pour les périodes passé récent (1971-2000), futur proche (2021-2050) et futur lointain (2080-2100)



Source : Météo-France, station de Bains-les-Bains (Vosges)

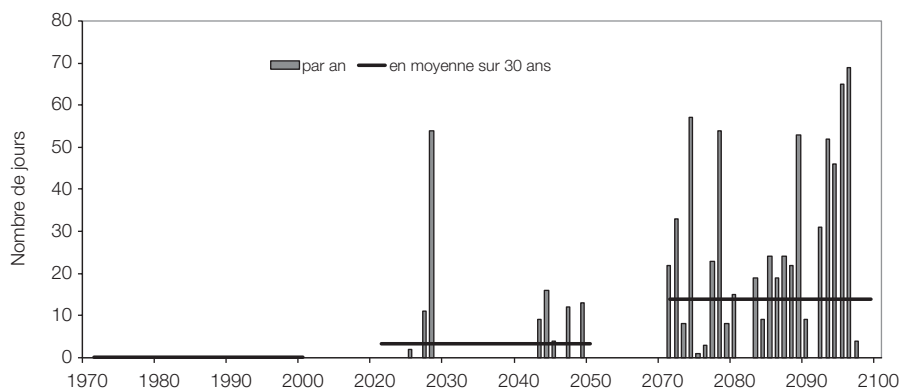
Évolution de la teneur en eau du sol et de l'intensité des sécheresses édaphiques

Figure 3 : Évolution annuelle de la teneur en eau du sol en moyenne sur une période de 30 ans



Source : Météo-France, maille SAFRAN à proximité du cas étudié, projet CLIMSEC – modèle ISBA.

Figure 4 : Évolution annuelle de nombre de jours de sécheresse intense pour les trois périodes étudiées



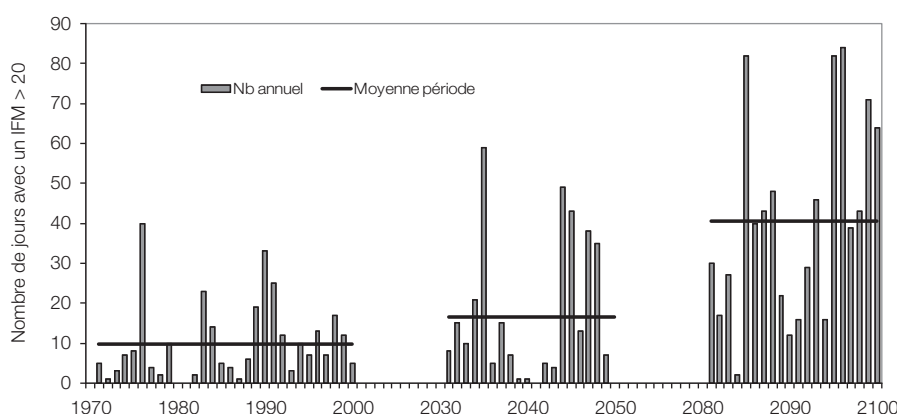
Source : Météo-France, maille SAFRAN à proximité du cas étudié, projet CLIMSEC – modèle ISBA.

La comparaison entre les périodes 1971-2000, 2021-2050 et 2071-2100 montre que :

- il y a une augmentation de la durée moyenne des sécheresses, dès l'horizon 2035 (tout en restant plus faible que dans les autres cas étudiés) qui passerait d'une durée d'un peu moins d'un mois à l'horizon 1985 à deux mois et demi à l'horizon 2035 et à quatre mois à l'horizon 2085 ;
- l'augmentation de la durée est principalement due à des dates de fin de sécheresse moyenne plus tardive dans la saison ;
- à l'horizon 2085, le retour à la recharge complète en eau du sol sera retardé et n'aura lieu en moyenne qu'à la fin de l'hiver ;
- les épisodes de sécheresse intense n'apparaissent qu'à l'horizon 2035 et restent peu fréquents. Mais ils pourraient être parfois longs (valeur maximum de près de deux mois) ;
- les épisodes de sécheresse intense seront récurrents à l'horizon 2085.

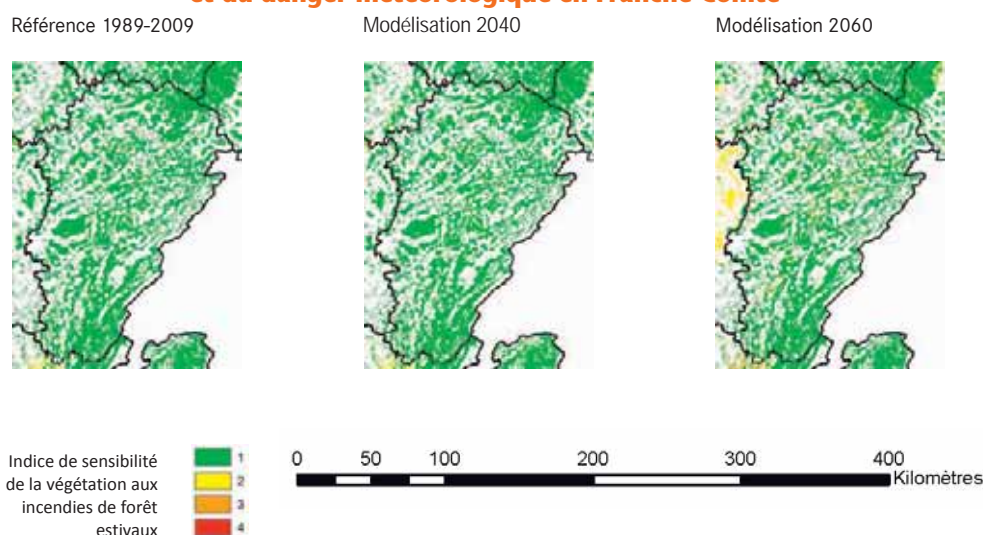
Évolution du risque incendie

Figure 5: Évolution annuelle de nombre de jours où l'Indice Forêt Météo (IFM) dépasse la valeur seuil de 20 pour les trois périodes étudiées (1971-2000, 2031-2050 et 2081-2100)



Source : Météo-France, maille SAFRAN à proximité du cas étudié.

Figure 6: Évolution du risque incendie en fonction de la sensibilité des forêts aux feux estivaux et du danger météorologique en Franche-Comté



Source : Chatry *et al.*, 2010.

La comparaison entre les périodes 1989-2008, 2021-2050 et 2071-2100 montre :

- une multiplication par 1,7 du nombre de jours où l'IFM dépasse 20 dans le futur proche et par 4 dans le futur lointain ;
- une augmentation de la fréquence des jours où l'IFM dépasse 40, qui passe d'une fréquence de une année sur dix dans le passé récent à deux années sur dix dans le futur proche et à sept années sur dix dans le futur lointain, avec une valeur moyenne de dix jours par an durant cette période ;
- une augmentation de la fréquence du danger météorologique, se traduisant par une très faible augmentation du risque d'incendie à l'horizon 2060, de par les essences présentes qui sont peu inflammables.

Effets attendus du changement climatique sur le hêtre dans le système étudié

Modifications dues au CC sur ↓	Description des modifications attendues et de leurs effets potentiels sur la productivité, la mortalité et la régénération
Confort hydrique / fréquence et intensité des sécheresses	La croissance radiale du hêtre est fortement liée aux déficits hydriques de juin à août de l'année en cours et de l'année précédente (Badeau, 1995 ; Granier <i>et al.</i> , 1995) ainsi qu'à la précocité d'apparition d'un déficit hydrique au cours de la saison de végétation (Lebourgeois, 2005). L'augmentation de l'intensité et de la précocité des sécheresses devrait affecter la croissance du hêtre.
	Le sapin est particulièrement sensible à la sécheresse (Becker, 1970). La durée et la précocité moyenne des sécheresses attendues dans le futur lointain sont supérieures à celles observées actuellement dans le cas de la sapinière dépérissante de l'Aude (voir la fiche étude de cas relative au sapin en moyenne montagne méditerranéenne). Si de surcroît, les sécheresses intenses deviennent récurrentes, il faut s'attendre à un fort risque de dépérissement du sapin à long terme.

Modifications dues au CC sur ↓	Description des modifications attendues et de leurs effets potentiels sur la productivité, la mortalité et la régénération
Interactions avec les ravageurs et les pathogènes	Le hêtre est une essence ayant un cortège de ravageurs et de pathogènes relativement réduit par rapport aux autres feuillus. Néanmoins, l'impact de certains d'entre eux pourrait augmenter avec le changement climatique (Nageleisen, 2010 ; Perrin, 1997).
	Les scolytes (cambiophages et xylophages) ont actuellement un impact faible sur le hêtre. Si le réchauffement s'accroît, il pourrait affaiblir les arbres, les rendant plus vulnérables aux attaques. L'augmentation des températures favoriserait, par ailleurs, le développement de ces ravageurs (Nageleisen, 2010).
	La cochenille est un ravageur qui a déjà causé dans les années 1970 des dépérissements importants du hêtre en Normandie. Son impact, actuellement faible, pourrait augmenter avec le changement climatique (Nageleisen, 2010).
	Le <i>nectrias</i> est un champignon parasite de faiblesse qui forme des chancres sur le tronc et des nécroses cambiales. Son impact est faible actuellement mais il pourrait se développer avec le changement climatique (Nageleisen, 2010).
	Le <i>Phytophthora ramorum</i> est un champignon, qui forme des chancres sur le tronc et des nécroses racinaires. En France, il n'est actuellement présent que sur des espèces arbustives. Ce pathogène très polyphage pourrait, cependant, se développer sur le hêtre et causer des mortalités importantes comme il a en déjà causées sur d'autres espèces : chêne aux États-Unis, mélèze au Royaume-Uni (Nageleisen, 2010).
Fréquence des incendies	L'Amadouvier est un champignon lignivore qui entraîne une pourriture lente du bois. Elle dévalorise énormément la tige et provoque la mort de l'arbre. L'infection est favorisée par des blessures de l'écorce. Dans la forêt étudiée de telles blessures pourraient survenir lors d'épisodes de gels importants, notamment automnaux. La fréquence de ces phénomènes pourrait augmenter avec les effets du changement climatique.
	Les cartes montrent une faible sensibilité de cette forêt aux incendies estivaux. Cette faible sensibilité est principalement liée à la faible inflammabilité des essences actuellement présentes (Chatry <i>et al.</i> , 2010). Cependant, avec le changement climatique, le nombre de jours favorables aux départs de feux va augmenter de manière importante (données Météo-France). Ces prévisions devront être prises en compte si des substitutions d'essences sont envisagées.

Modifications dues au CC sur ↓	Description des modifications attendues et de leurs effets potentiels sur la productivité, la mortalité et la régénération
Durée de la saison de végétation	En fonction des scénarios retenus, des allongements de la durée de la saison de végétation compris entre 9 et 17 jours à l'horizon 2050 et entre 10 et 24 jours à l'horizon 2085 sont attendus dans les régions du Jura et des Vosges, pour les essences décidues (Lebourgeois <i>et al.</i> , 2011). Cet allongement de la saison de végétation est davantage dû à un retard de jaunissement des feuilles qu'à l'avancée de la date de débourrement. Les conséquences pourraient être positives : allongement de la période photo-synthétiquement active, augmentation du stockage des réserves carbonées et augmentation de la productivité. Elles pourraient aussi être négatives : augmentation de la période de consommation en eau et retard à la réhydratation des sols à l'automne (durée d'interception maximale des pluies plus longue, si période feuillée allongée) conduisant finalement à une dégradation du bilan hydrique, augmentation des dégâts foliaires dus aux gels tardifs et des problèmes de vernalisations entraînant une moindre résistance aux froids précoces. Les dégâts de gels précoces peuvent avoir des conséquences importantes, comme ce fut le cas dans les Ardennes en 1998, entraînant la succession suivante : nécroses cambiales, suintements, attaques de scolytes, et dépérissements brutaux (Nageleisen, 2010).
Augmentation de la disponibilité du CO ₂	L'augmentation de la disponibilité du CO ₂ n'entraînera pas d'augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau car les fortes teneurs en CO ₂ atmosphérique ne provoquent pas de régulation stomatique chez le hêtre.

■ Synthèse : effet du changement climatique sur le système étudié

Pour la forêt étudiée, les effets attendus du changement climatique sont relativement faibles comparés aux autres cas étudiés dans cette prospective. L'augmentation de l'intensité et de la précocité des sécheresses devrait tout de même affecter la croissance du hêtre et entraîner des dépérissements du sapin dans un futur lointain. L'impact de certains ravageurs et pathogènes pourrait également augmenter. Le risque d'incendie devra être pris en compte en cas de substitution d'essence. L'allongement de la saison de végétation liée à l'augmentation des températures aura des effets antagonistes sur la croissance du hêtre. L'augmentation de la disponibilité en CO₂ n'entraînera pas d'augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau chez le hêtre.

3. Options d'adaptation à l'échelle de la forêt et de son territoire

■ Option H1 : Maintien du système et diversification au profit du chêne et de l'érable

Le propriétaire souhaite continuer à concilier la production de bois et la protection du milieu. Il continue donc à réaliser une sylviculture irrégulière et mélangée en futaie claire en projetant que ses pratiques qui favorisent la résilience et réduisent le risque, suffiront à éviter d'éventuels dépérissements dans un contexte de changements climatiques limités. La souplesse de ce système en termes de coupes lui permet de gérer le risque de réduction de productivité des trois essences principales lié aux sécheresses attendues à partir de 2040.

L'itinéraire sylvicole repose sur des récoltes régulières tous les 8 ans et des éclaircies ou dépressages intermédiaires réguliers. Ce système permet de maintenir une faible compétition pour l'eau. Pour augmenter la résistance de ce système, les récoltes sont menées de manière à favoriser la régénération du chêne ainsi que de l'érable, car ces deux essences sont moins sensibles à la sécheresse que le sapin et le hêtre. La proportion du mélange pourra être adaptée en fonction de l'évolution climatique et des risques sanitaires.

La gestion est donc flexible, ce qui permet de palier aux problèmes sanitaires ou climatiques qui pourraient survenir.

■ Option H2 : Substitution d'essence dans un objectif de production

Dans cette option, le propriétaire choisi d'orienter sa forêt vers un objectif de production de bois et d'abandonner l'objectif de protection. Cette décision pourrait être prise :

- soit pour anticiper la forte augmentation de l'intensité et de la fréquence des sécheresses prévue à l'horizon 2040, qui pourrait entraîner des dépérissements et des problèmes de régénération du sapin et réduire fortement la productivité du hêtre, notamment s'il est affecté de manière récurrente par des pathogènes (amadouvier, chancres, scolytes, etc.). Ces aléas biotiques et abiotiques risqueraient de compromettre la rentabilité de la production du hêtre et du sapin ;
- soit par opportunité, dans un contexte climatique largement défavorable à la production forestière à l'échelle nationale. Cette zone reste malgré le changement climatique très favorable à la production forestière de nombreuses essences.

Pour maintenir une production de bois, de nouvelles essences sont introduites soit par bouquets, soit en plantation en plein dans le massif, pour la production de bois d'œuvre. Ces nouvelles essences sont principalement des essences résineuses allochtones telles que le douglas, le cèdre et des sapins méditerranéens (sous réserve d'assouplissement de la réglementation actuelle).

■ Option H3 : Abandon de l'objectif de production et gestion patrimoniale

Le propriétaire fait face à une forte réduction de la productivité de sa forêt, associée à des conditions de marché difficiles qui compromettent la rentabilité de la production du hêtre et du sapin. Il choisit de réorienter sa forêt vers un objectif principal de protection.

Une forte augmentation de l'intensité et de la fréquence des sécheresses entraîne des dépérissements et des problèmes de régénération du sapin. De plus, le hêtre est affecté de manière récurrente par des pathogènes (amadouvier, chancres, scolytes, etc.) et sa productivité est fortement impactée par les sécheresses. Ces aléas biotiques et abiotiques compromettent la rentabilité de la production du hêtre, mais l'habitat des hêtraies-chênaies se maintient avec une proportion plus importante du chêne, due à l'affaiblissement du hêtre. La croissance des arbres est réduite et ne permet pas une production de bois d'œuvre. L'option de substitution d'essences n'est pas envisagée par le propriétaire qui est attaché à la qualité écologique de ces habitats. L'objectif devient donc la protection (préservation de la biodiversité dans le cadre de Natura 2000).

Grandes cultures dans le Cher*

1. Diagnostic de l'exploitation et de son environnement proche

■ Caractéristiques de l'exploitation

Indicateurs	Valeurs	Remarques
SAU (ha)	250	100 % COP (dont 65 % de céréales à paille et 35 % de protéagineux - colza) Pas d'irrigation
UTH	2	Dont 1 salarié
Parc matériel	Retournement – fragmentation fine	Labour – travail profond – outils sur prise de force – 100 % en propriété – matériel récent
	Parcellaire favorable	Parcelles groupées
Atouts	80 % de la récolte stockable	Libérée selon les cours
	Pointe de travail	Juin à octobre
Contraintes	Maîtrise technique délicate	Manque de temps d'observation
	Système dépendant de la PAC	Paiement PAC/résultat courant : 160 %
Perspectives	Agrandissement	Parc matériel compatible
	Passage aux TCS	Si conditions agronomiques favorables

Source : INOSYS – Réseau grandes cultures, cas-type n° GC 127 « Grandes cultures, 180 à 300 ha, 2 UTH, Potentiel agronomique moyen », Chambre d'agriculture du Centre, 2011.

■ Systèmes de production et résultats économiques¹

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Rotation type	Colza blé orge (pas d'irrigation)	Variante : pois blé orge
Part de légumineuse	< 10 %	
Fertilisation	100 % minérale	Blé : 170 unités N/ha Colza : 160 unités N/ha
IFT blé	3,61	4,1 valeur France 2006*
Charges opérationnelles	340 €/ha	50 % engrais, 35 % traitements
Charges de structure (hors amortissements et frais financiers)	467 €/ha	20 % charge salariale, 25 % fermage
Produit brut	295 k€	Dont 20 % PAC (70 k€)
EBE	94 k€	Dont 35 % annuités et frais financiers Assise financière confortable et bonne capacité d'investissement
En 2010	Prix de vente élevés (+ 5€/q)	Augmentation des EBE de plus de 60 %

* Source : INRA.

Source : INOSYS – Réseau grandes cultures, cas-type n° GC 127 « Grandes cultures, 180 à 300 ha, 2 UTH, Potentiel agronomique moyen », Chambre d'agriculture du Centre, 2011.

■ Contexte local

Paysages et indicateurs agro-environnementaux

Le cas type étudié est situé dans le département du Cher (station météo de référence : Bourges) dans la petite région agricole (PRA) « Champagne Berrichonne ». La Champagne Berrichonne est un pays de plaine ouverte. Elle s'étend dans les départements de l'Indre et du Cher sur un vaste plateau calcaire légèrement ondulé et traversé par quelques vallées.

D'un point de vue agro-environnemental :

- zone classée en zone vulnérable ;
- la qualité des eaux (superficielle et souterraine) est moyenne à médiocre² pour le paramètre pesticide et le paramètre nitrate ;
- l'aléa érosion et très faible ;
- densité de bocage faible ;
- pas de classement en zone HVN (haute valeur naturelle).

Sols

Les sols sont argilo-calcaires (sols Bruns calcaires – 25 à 35 % d'argile) avec un potentiel agronomique élevé (peu de pente, fertilité chimique élevée, risque de battance faible, situation hydromorphique saine). Les deux principales contraintes de ces sols sont une réserve utile faible et un taux de matière organique moyen à faible (en diminution sur les 15 dernières années).

Caractéristiques des sols de la Champagne Berrichonne

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Texture	Argilo-calcaire	25 % à 35 % d'argile
CEC	16-30 cmol/kg	Taux de saturation > 80 % - bonne fertilité chimique
Carbone organique	14 g/kg (60 t/ha)	Soit environ 2,4 % de matière organique (stable ou en diminution sur la période 1990-2004)
Sensibilité à la battance	Faible	
Situation hydrique		
Infiltration verticale	Très forte	
Hydromorphie	Pas de risque	
Réserve utile	Faible	50 à 100 mm

Source : GIS Sol.

Climat

Les températures moyennes mensuelles varient régulièrement entre les minima de janvier (3 à 4°C) et les maxima pour les mois les plus chauds de juillet-août (18 à 19°C). Les vents de Sud-Ouest sont dominants (30 à 35 % des observations). Ces vents sont responsables de l'influence océanique dominante. Les vents ont une vitesse faible (< 8 m/s en moyenne). L'ensoleillement est moyen, de l'ordre de 1700 à 1900 heures par an. Les précipitations sont modérées autour d'une valeur de 600 à 700 mm pour

* Cette fiche, rédigée en janvier 2012, est le résultat des contributions de Sylvain Doublet, David Gouache ; Bernard Itier et Julien Vert.

1. Résultats économiques de 2010.

2. Source : SEQ-eau.

la Champagne Berrichonne. La répartition des pluies est relativement homogène sur l'année (200 jours de pluies) avec des valeurs moyennes mensuelles oscillant entre 45 et 65 mm (maxima en mai – minima en été). Les épisodes climatiques extrêmes peuvent être :

- les orages (15 à 20 par an) ;
- la grêle (3 à 4 fois par an) ;
- les gelées (50 à 60 jours par an) ;
- la neige (15 chutes par an – faible épaisseur).

Disponibilité de la ressource en eau sur le bassin versant du Cher

L'AEP (alimentation en eau potable), l'industrie et l'agriculture se partagent la ressource. La plus grande partie des volumes utilisés est prélevée en période d'étiage, ce qui montre un déséquilibre entre l'état de la ressource et les besoins. Les prélèvements agricoles représentent entre 20 et 40 % des volumes prélevés sur l'année, et entre 30 et 50 % des volumes prélevés en période d'étiage (principalement en eau souterraine). Les tensions sur la ressource en eau sont importantes et les conflits d'intérêts sont forts (arrêtés de restriction des prélèvements d'irrigation).

2. Effets du changement climatique sur le système d'exploitation

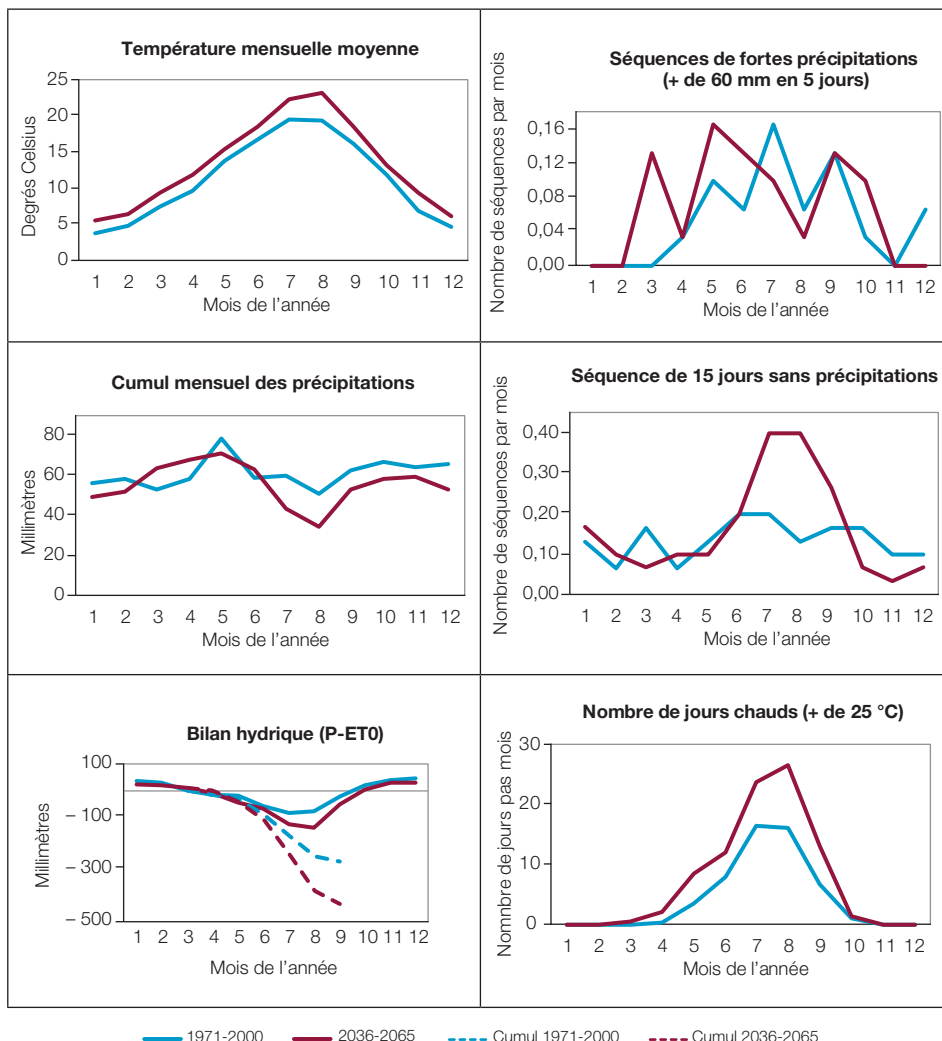
Description du changement climatique et des impacts attendus

Les données suivantes sont issues de simulations climatiques mensuelles réalisées spécifiquement pour cet exercice à partir de données Météo France. Elles concernent d'une part une période de référence centrée en 1985 allant de 1971 à 2000. D'autre part, elles concernent une seconde période future centrée en 2050 (l'horizon temporel de la présente étude prospective) allant de 2036 à 2065.

La comparaison entre les périodes 1971-2001 et 2036-2065 montre :

- une augmentation des températures de 2°C, relativement homogène sur l'année (plus marquée sur juillet-août avec +3°C) ;
- un cumul de pluie équivalent sur le premier semestre, mais dégradé sur le second semestre (réduction de 20%) ;
- un déficit hydrique (P-ET0) très dégradé de juin à septembre ;
- un doublement du nombre de jours échaudants sur le premier semestre.

Station de Bourges

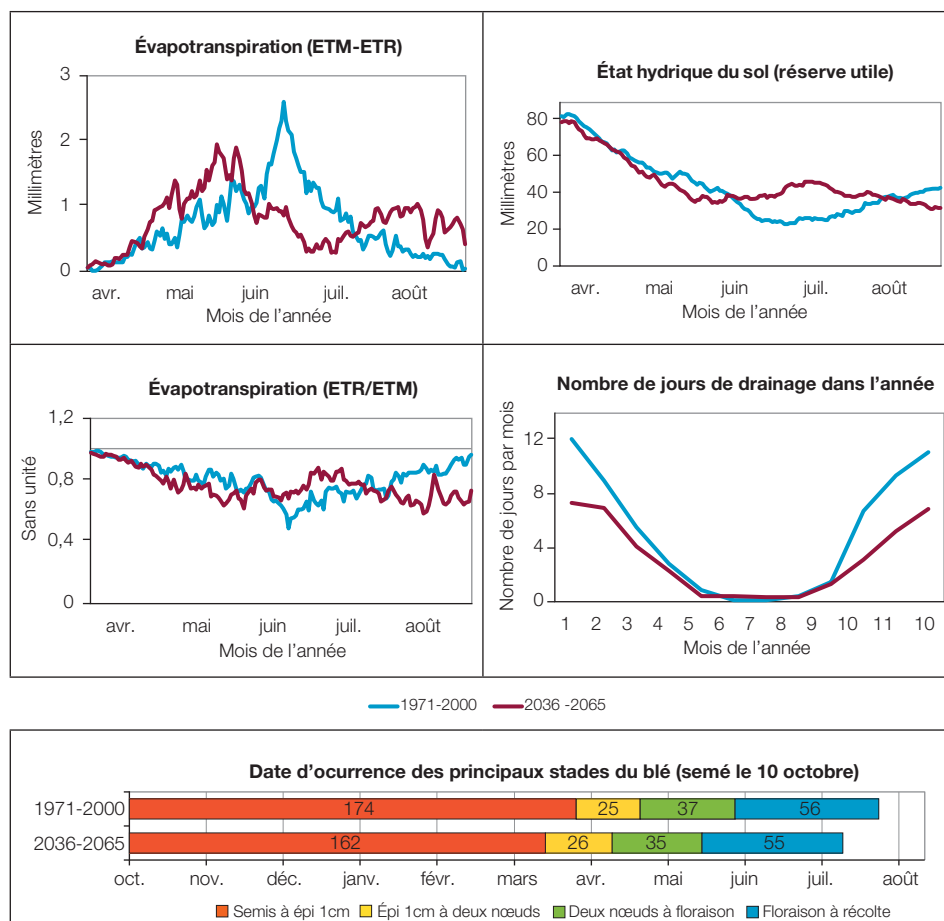


En prenant comme modèle un blé et un sol dont la réserve utile est de 100 mm, on constate les conséquences agronomiques suivantes :

- un stress hydrique (ETR/ETM) équivalent sur l'essentiel de la période de montaison puis plus important lors du remplissage ;
- les besoins en eau supplémentaire (ETM-ETR) sont supérieurs à partir de la seconde quinzaine d'avril ;

- un risque d'échaudage plus marqué ;
- la réserve hydrique des sols est dégradée au démarrage de la végétation à la sortie de l'hiver et jusqu'en juillet, puis en meilleur état ;
- les restitutions au milieu (nombre de jours de drainage) sont moindres.

Blé - principaux indicateurs de l'état hydrique du couvert (RU : 100 mm)



Pour les céréales de type blé (sur des sols avec des RU faibles – 100 mm), la situation est moins favorable que celle du passé récent (plus de stress hydrique, plus de jours échaudants). Un début de printemps plus humide et chaud risque également d'augmenter les risques de maladie. Les risques d'échaudage seront importants mais partiellement compensés par un raccourcissement des phases phénologiques dû à l'accroissement des températures.

Effets attendus du changement climatique sur les cultures du système étudié

Cultures annuelles – Modèle blé tendre variété précoce sans irrigation

Effets du CC sur ↓	Description
Durée des cycles culturaux	Avancée de tous les stades de 10 jours (FP) à 20 jours (FL) (Brisson et Levraut, 2010)
Conditions de semis, récolte	Augmentation du nombre de jours disponibles pour réaliser les opérations culturales (hors fertilisation et traitements) (Brisson et Levraut, 2010)

Effets du CC sur ↓	Description
Rendements	Sol avec RU 100 mm : le rendement pourrait diminuer de plusieurs quintaux (stress hydrique lors de la montaison et diminution de la biomasse à la floraison + stress thermique lors du remplissage des grains) Meilleure croissance automnale et hivernale possible du fait de l'augmentation de température et du maintien de l'humidité (Brisson et Levraut, 2010 ; ACTA-MIRES, 2009)
Disponibilité en eau	Augmentation du stress hydrique en fin de montaison
Bioagresseurs	Résultats empreints d'incertitude, mais probabilité d'augmentation des risques en sortie d'hiver puis de diminution en montaison : conséquences sur épidémies difficiles à prévoir. Risques liés aux ravageurs plutôt en croissance (augmentation des températures hivernales notamment) (Brisson et Levraut, 2010)
Échaudage	Stress thermique accru affectant le remplissage des grains (Brisson et Levraut, 2010)
Aléas climatiques, destruction des récoltes	Baisse de la fréquence du gel d'épis

■ Synthèse : effet du changement climatique sur le système d'exploitation

Globalement à l'horizon 2050, les conditions de croissance automnales/hivernales auront plutôt tendance à s'améliorer pour les cultures d'hiver : disponibilité en eau, meilleure valorisation de l'azote, réduction du risque de gel. En revanche, le changement climatique devrait conduire à une dégradation

marquée des conditions d'élaboration du rendement en fin de cycle, due aux stress hydrique et thermique. Cet effet pourrait être en partie compensé par une accélération et un décalage des cycles des cultures, qui interviendra partiellement de façon naturelle. Une dégradation des conditions d'implantation des colzas à l'automne est également probable compte tenu d'une sécheresse accrue des couches superficielles des sols.

3. Options d'adaptation à l'échelle de l'exploitation et de son territoire

■ Option GC1 : Esquiver le stress hydrique en décalant le cycle des cultures et introduire des cultures dérobées

L'objectif est de valoriser les périodes climatiques favorables et d'éviter les périodes de stress liés aux excès de température et au manque d'eau. Pour le blé, cette stratégie repose sur l'utilisation de variétés à montaison et à épiaison plus précoces (environ 1 semaine) pour augmenter la biomasse produite lors de l'hiver et sa valorisation en rendement (moins de tallage, plus de grains par épi), ainsi que pour réduire les pertes liées aux stress tardifs. Pour l'orge, il s'agit d'augmenter la proportion d'orges de printemps semées à l'automne (pour les mêmes raisons agronomiques que le blé) et de semer plus précocement également au printemps (dans les limites de faisabilité en février). Cette stratégie dépend de la disponibilité en matériel génétique adapté et pourrait engendrer une augmentation des pressions parasitaires sur l'orge de printemps.

Ce décalage ouvre une opportunité de développement de cultures dérobées après la récolte des blés, colzas, orges d'hiver, et orges de printemps semés à l'automne, car elle sera beaucoup plus précoce. Ces cultures dérobées devront être choisies en tenant compte des températures fortes et du manque d'eau qui se feront sentir en période estivale. Leur développement pourrait s'accompagner de techniques innovantes (semis « en relais » dans la culture précédente, modalités de conduite et de récolte adaptées) mais reste dépendant de l'existence de débouchés et de la structuration des filières correspondantes qui peut être difficile si la production est faible ou trop fluctuante. Ces cultures dérobées pourraient notamment être constituées de graminées tropicales ou de sorgho pour la création d'une ressource fourragère locale ou une valorisation en méthanisation.

■ Option GC2 : Développer l'irrigation pour accroître les rendements

L'objectif est de valoriser au maximum l'offre accrue en température et en rayonnement par des cultures nouvelles, et de stabiliser le rendement des cultures habituelles en valorisant mieux la ressource hydrique hivernale.

Il s'agit donc de développer une irrigation d'appoint sur la rotation colza/blé/orge. Mais les investissements liés à l'irrigation sont importants et leur réalisation dépendra très probablement de la possibilité d'implanter sur certaines surfaces (les sols les plus profonds et les moins caillouteux) des cultures à plus forte valeur ajoutée, telles que le maïs ou le blé dur.

Dans une région où la ressource en eau est déjà sous tension en période d'étiage, cette stratégie n'est envisageable que par le développement du stockage hivernal de l'eau et donc le développement de réserves collinaires. Elle pourrait poser des problèmes de conflits d'usage sur la ressource en eau.

■ Option GC3 : Améliorer la résilience en diversifiant les cultures et en adoptant des techniques de conservation des sols

L'objectif est de diversifier le système pour le rendre plus résilient, d'améliorer la capacité des sols à retenir l'eau, de réduire les difficultés d'implantation du colza et des cultures de printemps afin de mieux tolérer les stress hydriques plus tard en saison, et de mieux positionner les cycles de culture par rapport aux périodes favorables ou de stress climatique. Pour cela, il s'agit de mettre en œuvre des techniques issues de l'agriculture de conservation pour améliorer la teneur en matière organique des sols et assurer une couverture permanente qui permet de maintenir une bonne humidité de la couche de surface pour les semis (en particulier colza). L'utilisation de cultures intermédiaires favorisant les enracinements des cultures de printemps est également à rechercher au sein de rotations plus longues et plus diversifiées, avec l'introduction de légumineuses.

Cette stratégie dépend de l'adaptation de ces techniques au contexte local (différent des contextes dans lesquels l'agriculture de conservation s'est développée dans le monde) et des possibilités de valorisation des couverts et cultures intermédiaires.

Chênaie du bassin de la Loire *

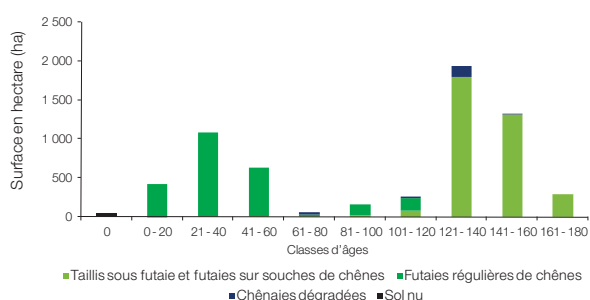
Le cas étudié est une forêt domaniale de 6500 ha située dans le département de l'Indre. Le chêne est l'essence dominante des peuplements. Deux espèces de chênes (chêne pédonculé et chêne sessile) sont présentes dans le massif, en mélange pied à pied et en proportion variable selon les parcelles. Cette forêt est en grande partie issue de taillis sous futaie de chêne dont la conversion à commencé il y a 60 ans. Quelques dépérissements de chêne pédonculé sont observés dans le massif depuis plusieurs années.

1. Diagnostic de l'unité de gestion forestière et de son environnement proche

■ Caractéristiques de l'unité de gestion forestière

Cette forêt comporte trois grands types de peuplements de chêne : des jeunes futaies régulières de chênes, des taillis sous futaie ou futaie sur souches de chênes en cours de conversion et des peuplements dégradés de pin sylvestre et de chêne pédonculé.

Figure 1 : Répartition des surfaces par classe d'âge du cas d'étude



Source : Aménagement forestier, ONF.

Futaies régulières de chênes

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Surface	2500 ha	38 % de la surface totale
Origine des peuplements	Régénération naturelle	Proportion de chênes sessile et pédonculé non déterminée
Age des peuplements	De 1 à 60 ans	Relativement jeunes
Historique de gestion	Gestion en futaie avec des éclaircies à intervalles de 8 ans pendant les 80 premières années puis à intervalle de 10 ans. Première éclaircie commercialisable à environ 45 ans.	
Itinéraire sylvicole envisagé jusqu'à l'exploitation	Production de bois d'œuvre, pour une récolte finale à 180 ans, de 70 tiges/hectare, d'un diamètre moyen de 60 à 70 cm	

* Cette fiche, a été rédigée en avril 2012, par Anne-Sophie Sergent, avec les contributions des experts forestiers du groupe AFCLim et de Joël Mabille (ONF).

Taillis sous futaie et futaies sur souches en cours de conversion en futaie régulière de chênes

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Surface	3500 ha	53 % de la surface totale
Origine des peuplements	Régénération naturelle	Composé à 80 % de chêne sessile et à 20 % de pédonculé. Cette proportion est très variable entre parcelles. Le chêne pédonculé est majoritaire sur près de 500 ha soit 26 parcelles sur 120
Age des peuplements	De 80 à 180 ans	
Historique de gestion	Anciens taillis sous futaie ou taillis de chêne, en cours de conversion en futaie régulière	
Itinéraire sylvicole envisagé jusqu'à l'exploitation	Production de bois d'œuvre, pour une récolte finale à un diamètre moyen de 60 à 70 cm	

Chênaies dégradées et irrégulières pures ou en mélange avec du pin sylvestre

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Surface	200 ha	5 % de la surface totale
Origine des peuplements	Les chênes sont issus d'anciens taillis ou taillis sous futaie et les pins sont issus de plantation et/ou de régénération naturelle	
Age des peuplements	De 60 à 180 ans	
Historique de gestion	Peuplements irréguliers	
Itinéraire sylvicole envisagé jusqu'à l'exploitation	Exploitation progressive sur des critères d'état sanitaire et de diamètre d'exploitation. Transformation en futaie envisagée	
	Exploitation du pin sylvestre à 100 ans pour un diamètre de 50 à 55 cm et exploitation du chêne pédonculé à un diamètre de 50 cm	

Ne sont détaillés dans cette fiche que les types de peuplements principaux, importants en termes de surface, d'enjeu ou d'adaptation.

Les autres types de peuplements présents sont :

- des terrains boisables (landes et anciens peuplements de pin sylvestre exploités il y a 30 ans, non remplacés - 100 ha) ;
- des peuplements hors sylviculture (dont réserve biologique intégrale - 150 ha) ;
- des futaies résineuses (40 ha).

Atouts	Une grande partie de la forêt est à régénérer
Contraintes	Faible diversification des essences de production Effort de régénération très important à mettre en œuvre Risque de dépérissement

Source des tableaux : ONF.

■ Production et résultats économiques

Ces valeurs sont valables pour une futaie de chêne de classe de fertilité moyenne gérée selon une sylviculture dynamique, ce qui correspond, dans le cas présent, aux 2 500 ha de jeunes futaies régulières de chênes sur les 6 500 ha de la forêt.

Indicateur	Valeur	Remarques
Productivité	4,8 m ³ /ha et /an	De 3,5 à 6,2 m ³ /ha et /an en fonction de la fertilité de la station
Prix moyen de vente des arbres objectif lors de la récolte finale	De 150 à 200 €/m ³	Pour un diamètre de 70 cm
Recette annuelle	940 €/ha et /an	Valable en futaie régulière pour une sylviculture dynamique uniquement
Coût annuel	70 €/ha et /an	Le coût des travaux sylvicoles représente 60 % du coût annuel
Bénéfice annuel	870 €/ha et /an	Bilan annuel très élevé
Taux interne de rentabilité	2,4 %	Taux plus bas que ceux observés pour les résineux lié à une durée de rotation longue
Revenus non sylvicoles	46 €/ha et /an	Chasse
Atouts	Pas de problème de débouchés pour les gros chênes de bonne qualité	
Faiblesses	Prix de vente fortement dépendant du diamètre des arbres Dépend du maintien d'un bon état sanitaire des arbres	

Source : Aménagement forestier (ONF) et Jarret (2004).

La région Centre occupe la 13^e place des régions françaises pour les volumes sciés en 2010 (toutes essences). 1,74 million de m³ de bois a été récolté en 2010 en région Centre (par les entreprises ayant leur siège en région Centre). Le secteur forêt-scierie représentait près de 1 400 emplois en 2010. La région Centre est la première région française en récolte de bois d'œuvre de chêne (14,6 % de la récolte nationale) devant la Bourgogne et la Lorraine. Les récoltes de chêne en région Centre sont restées stables entre 2005 et 2010, alors qu'une baisse constante a été observée au niveau national. Le meilleur débouché actuellement pour le chêne est l'utilisation en merrains¹.

■ Contexte local

Éléments paysagers et contexte forestier

Le cas d'étude se situe dans la région forestière de Boischaud Sud et Champagne berrichonne. Cette région forestière est caractérisée par une succession de plaines ondulées et d'amples vallonnements s'ordonnant de part et d'autre de deux vallées principales, celles de l'Indre et celle de la Creuse. La région forestière est boisée à 18 % soit 163 000 hectares de forêts, dont 98 % sont constitués de forêts de production². Les peuplements feuillus sont largement majoritaires, principalement constitués de chêne sessile et de chêne pédonculé.

Éléments environnementaux

La forêt est incluse en grande partie dans une ZNIEFF (zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique) de type II. Des habitats patrimoniaux comme les pelouses calcicoles ou les landes sont présents de manière relictuelle au sein

des layons forestiers. Le massif forestier possède plusieurs mares et étangs, parfois tourbeux, qui abritent une flore rare et menacée. Au niveau de la flore, 56 espèces déterminantes ont été recensées, 12 sont protégées au niveau régional et quatre au niveau national. La richesse faunistique est aussi importante avec la présence de la cigogne noire, du sonneur à ventre jaune et de la cistude d'Europe³. Une petite partie du massif est concernée par Natura 2000 (Coteaux, bois et marais calcaires de la Champagne berrichonne), caractérisée par la présence de landes et de la végétation associée aux eaux oligotrophes. Ce massif comporte une réserve biologique intégrale de 100 ha, constituée de landes mésophiles. Bien que l'objectif de conservation ne soit pas l'objectif prioritaire, cette forêt présente des intérêts faunistique et floristique, ce qui suppose une gestion forestière appropriée.

■ Caractéristiques stationnelles, pédologiques et climatiques

Caractéristiques stationnelles

La forêt étudiée est caractérisée par un socle géologique très hétérogène de sable, d'argile et de calcaire. Six formations géologiques principales sont rencontrées : des calcaires durs (exploités autrefois comme pierres de construction), des calcaires oolithiques (exploités autrefois comme calcaires à chaux), des argiles non carbonatées à nodules calcaires, des argiles décalcifiées à forte charge en silice, des dépôts sablo-gréseux à sablo-argileux et des déjections torrentielles composées d'argile, de sable, de graviers et de galets.

La forêt étudiée se situe en plaine, à une altitude comprise entre 160 et 180 m.

Sept grands types de stations sont rencontrés sur le massif⁴, dont trois principaux qui occupent 95 % de la surface de cette forêt :

- **la chênaie acidocline** (44 % de la surface - 2800 ha). Cette station est fréquente sur les formations limoneuses et limono-sableuses de plateau. Les sols sont de type bruns lessivés (néoluvisols) et lessivés (luvisols). Ces sols sont fréquemment hydromorphes mais cette hydromorphie ne concerne que les horizons de profondeur, cette caractéristique la distingue de la station Chênaie acidiphile hydromorphe. La fertilité minérale est moyenne et la disponibilité en azote est bonne. La réserve utile est variable en fonction de la teneur en sable. Cette station est considérée comme ayant une très bonne potentialité forestière ;
- **la chênaie acidiphile** (35 % de la surface - 2300 ha). Les sols de cette station sont caractérisés par une faible fertilité et une forte acidité. Ils sont acides (brunisol et alocrisol) ou podzolisés (podzosol ocrique ou podzol). Les horizons de surface ne sont jamais hydromorphes, contrairement aux horizons de profondeur qui peuvent être engorgés de façon temporaire. Cette station est considérée comme ayant une bonne potentialité forestière ;
- **la chênaie acidiphile hydromorphe** (16 % de la surface - 1050 ha). Les sols sont bruns lessivés à pseudogley constitués de sable limoneux ou de limons peu épais sur argile. L'hydromorphie apparaît en moyenne dès 20 cm de profondeur. Ces sols sont caractérisés par des excès d'eau

1. Source : Agreste Centre.

2. Source : IFN.

3. Source : MNHN.

4. Sources : ONF, Brêthes (2004) et Jarret (2004).

en hiver et des déficits estivaux, déficit accentué par la faible prospection racinaire en profondeur. Cette alternance excès d'eau/sécheresse est la principale contrainte de ces sols. Le pH est compris entre 4 et 6. Le niveau trophique est moyen à élevé. La réserve utile est comprise entre 100 et 150 mm sur 70 à 80 cm de profondeur d'enracinement. Cette station est considérée comme ayant une potentialité forestière moyenne.

Caractéristiques climatiques

Le climat apparaît plutôt comme un climat continental, atténué par les influences atlantiques. La pluviométrie annuelle est de 700 à 750 mm et montre une assez bonne répartition dans l'année.

Climat moyen pour la période 1970-2000 pour la station de Châteauroux (Indre)

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Pluviométrie annuelle	738 mm	Pluviométrie moyenne, bien répartie dans l'année
Pluviométrie estivale	159 mm	Pas de déficit pluviométrique estival marqué
Température moyenne annuelle	11,4°C	
Nombre de jours de gel	52 jours	
Bilan hydrique climatique annuel	- 85 mm	Bilan hydrique climatique annuel négatif

Source : Météo France.

2. Effets du changement climatique sur la forêt

■ Description du changement climatique

Évolution du climat moyen et des événements climatiques extrêmes (canicules, gels intenses)

Les données suivantes sont issues de simulations climatiques mensuelles réalisées spécifiquement par Météo France pour cet exercice. Elles concernent trois périodes : une période de référence centrée sur 1985 allant de 1971 à 2000 (passé récent PR), une deuxième période future centrée sur

2035 allant de 2021 à 2050 (futur proche FP) et une troisième période future centrée sur 2085 allant de 2071 à 2100 (futur lointain FL). Elles présentent l'évolution future du climat moyen et des événements climatiques extrêmes tels que les canicules et gels intenses.

Évolution future du climat moyen pour la station de Châteauroux (Indre)

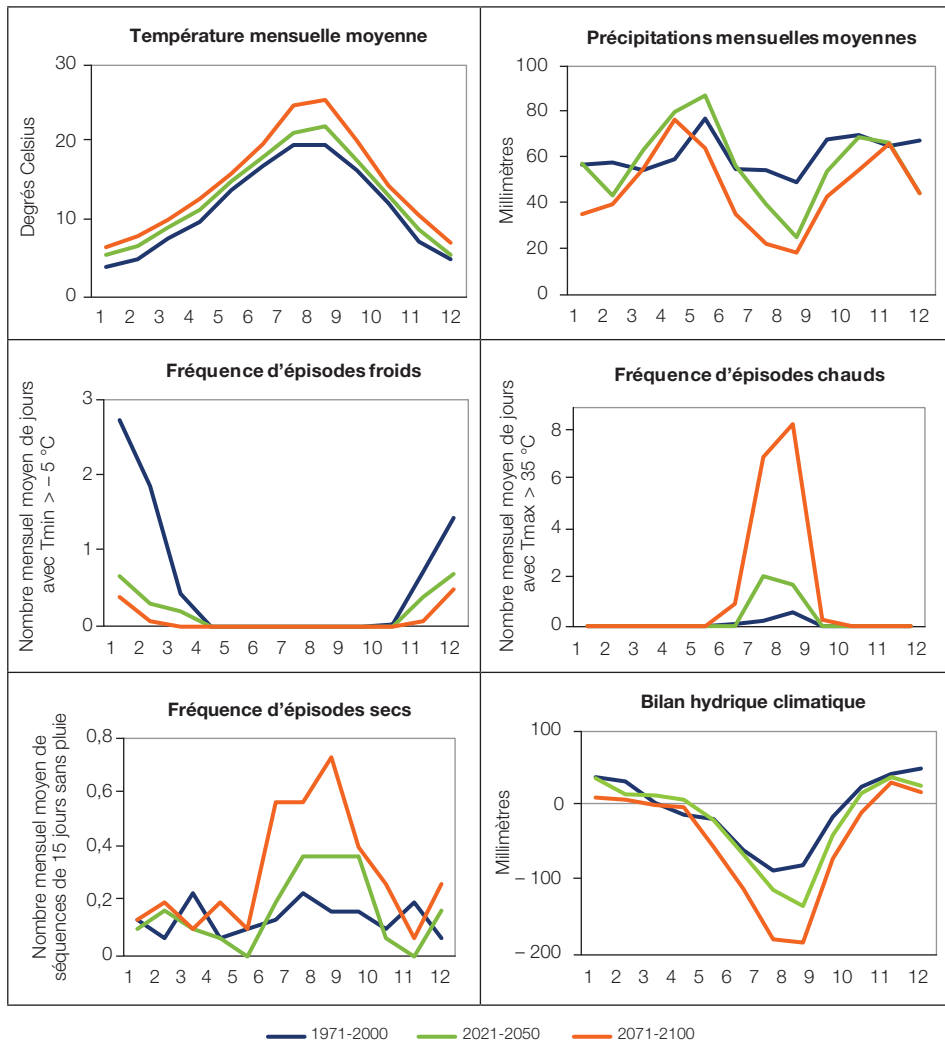
Indicateurs	Valeurs (en évolution)		Remarques
	De PR à FP	De PR à FL	
Température moyenne annuelle	+1,4°C	+3,2°C	Augmentation importante de la température moyenne
Nombre de jours de gel	- 12 jours	- 22 jours	Réduction importante du nombre de jours de gel
Précipitations (cumul annuel)	- 50 mm	- 181 mm	Réduction de 7 % en 2035 et de 25 % en 2085
Bilan hydrique climatique	- 138 mm	- 458 mm	Dégradation importante du bilan hydrique climatique

Source : Météo France.

La comparaison entre les périodes 1971-2001, 2021-2050 et 2071-2100 montre :

- une augmentation des températures moyennes dès le futur proche et qui s'accroît à l'horizon 2085. Dans le futur lointain, l'augmentation de la température moyenne par rapport à la période de référence (1971-2000) est beaucoup plus marquée en été ;
- une diminution de nombre de jours de gel et de la fréquence de gels intenses dès le futur proche ;
- une augmentation très importante du nombre de jours où les températures maximales dépassent les 35°C et un étalement de la période d'occurrence de ce phénomène dans le futur lointain ;
- une réduction des précipitations dans le futur lointain, avec des écarts à la période de référence plus marqués au cours des périodes estivales (mai à octobre) et hivernales (décembre à février) ;
- pour le futur proche, une dégradation du bilan hydrique principalement de juillet à août. Pour le futur lointain, dégradation plus marquée de mai à octobre.

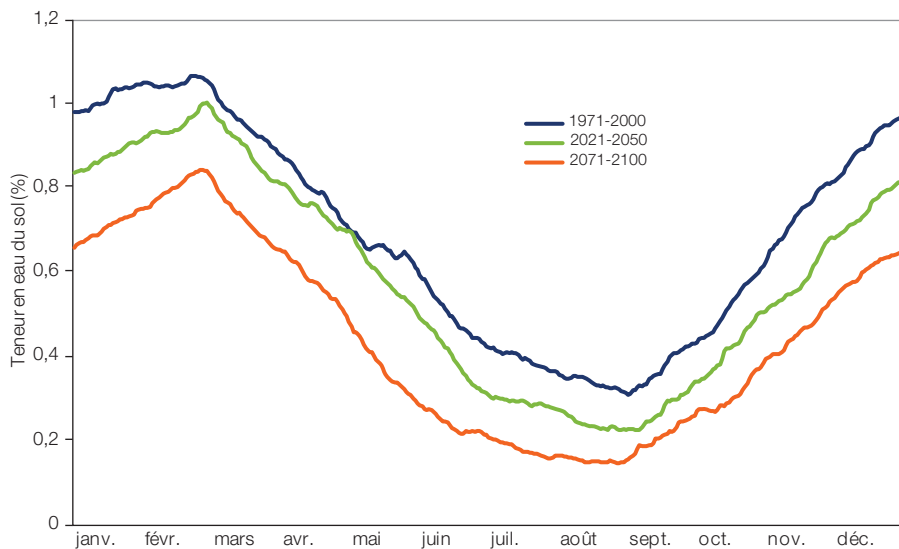
Figure 2 : Évolution mensuelle des principaux indicateurs météorologiques pour les périodes passé récent (1971-2000), futur proche (2021-2050) et futur lointain (2071-2100)



Source : Météo France, Station de Châteauroux.

Évolution de la teneur en eau du sol et de l'intensité des sécheresses édaphiques

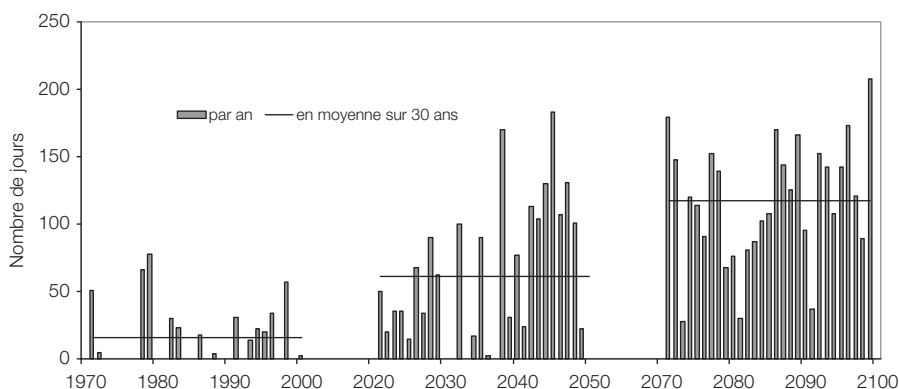
Figure 3 : Évolution annuelle de la teneur en eau du sol en moyenne sur une période de 30 ans



Source : Météo France, maille SAFRAN, à proximité du cas étudié. Projet CLIMSEC – Modèle ISBA.

Évolution du risque incendie

Figure 4 : Évolution annuelle du nombre de jours de sécheresse intense pour les trois périodes étudiées



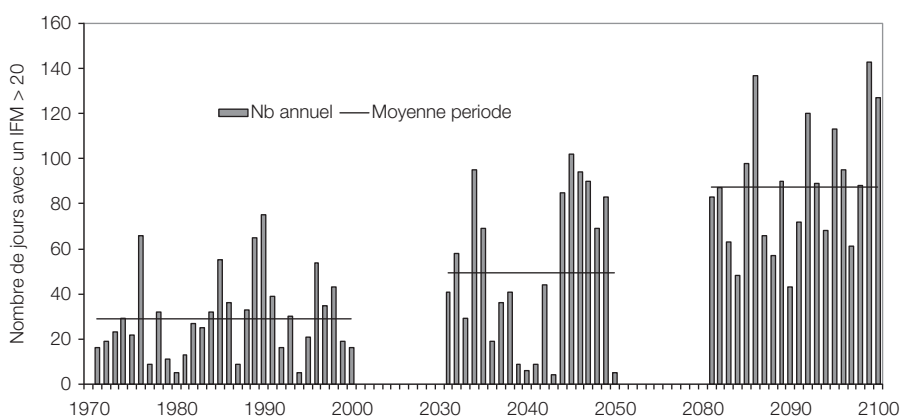
Source : Météo France, maille SAFRAN, à proximité du cas étudié. Projet CLIMSEC – Modèle ISBA.

La comparaison entre les périodes 1971-2000, 2021-2050 et 2071-2100 montre :

- une augmentation importante du nombre de jours de sécheresse passant d'environ 120 jours pour la période 1971-2000 à 148 jours pour 2021-2050 et enfin à 207 jours pour 2071-2100 ;
- la période de sécheresse estivale à l'horizon 2085 débutera en moyenne un mois et demi plus tôt dans la saison (mi-juin pour 1971-2000 et début mai pour 2071-2100) ;

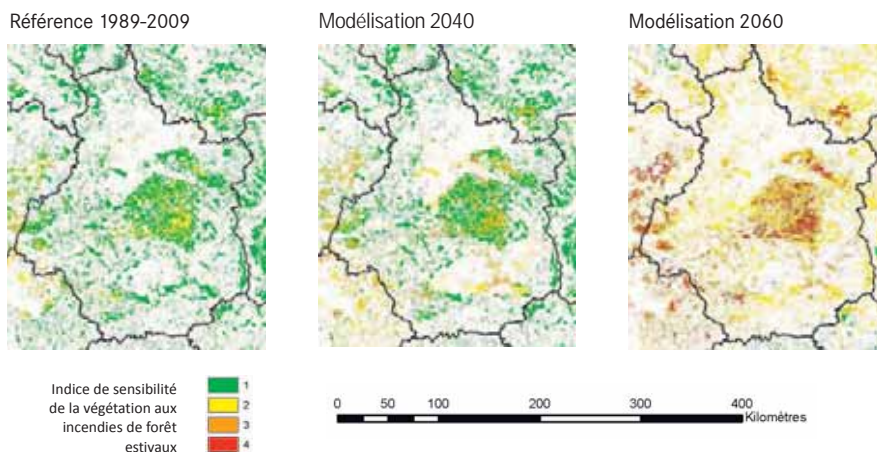
- la recharge complète en eau du sol au cours de l'hiver n'aura plus lieu à l'horizon 2085 ;
- une forte augmentation de la durée et de la fréquence de sécheresses intenses dès l'horizon 2035 (de 15 jours actuellement à 2 mois en 2035). À l'horizon 2085, la durée de sécheresse intense sera de près de 4 mois, soit une part importante de la saison de végétation.

Figure 5 : Évolution annuelle du nombre de jours où l'Indice Forêt Météo (IFM) dépasse la valeur seuil de 20 pour les trois périodes étudiées (1971-2000, 2031-2050 et 2081-2100)



Source : Météo France, maille SAFRAN, à proximité du cas étudié.

Figure 6 : Évolution du risque incendie en fonction de la sensibilité des forêts aux feux estivaux et du danger météorologique en région Centre



Source : Météo France ; IFN et ONF ; Chatry *et al.*, 2010.

La comparaison entre les périodes 1989-2008, 2031-2050 et 2081-2100 montre :

- une augmentation de la fréquence du danger météorologique se traduisant par une augmentation du risque d'incendie dans l'ensemble du massif à l'horizon 2040 et à l'horizon 2060 ;
- le nombre de jours où l'IFM dépasse 20 est multiplié par 1,7 dans le futur proche et par 3 dans le futur lointain ;
- le nombre de jours où l'IFM dépasse 40 est multiplié par 2,5 dans le futur proche et par 8,9 dans le futur lointain, avec une probabilité d'occurrence moyenne de 21 jours par an.

■ Effets attendus du changement climatique sur le chêne dans le système étudié

Modifications dues au CC sur ↓	Description des modifications attendues et de leurs effets potentiels sur la productivité, la mortalité et la régénération
Confort hydrique / fréquence et intensité des sécheresses	Les simulations climatiques indiquent que l'augmentation prévue des températures associée à une réduction des précipitations entraînera une augmentation importante de la durée et de la fréquence des sécheresses, dès 2040. Ces sécheresses, si elles sont en association avec des aléas biotiques pourraient avoir pour conséquence : une réduction de la croissance, une augmentation des dépérissements et des mortalités sur le chêne pédonculé ainsi que sur le chêne sessile (Bréda <i>et al.</i> , 1998). La croissance des chênes pédonculé et sessile est affectée par les sécheresses. Cependant, le chêne pédonculé présente une sensibilité plus grande lors de déficits hydriques très importants (déficit au moins double de celui observé en conditions normales) (Lebourgeois, 2006).
Interactions avec les ravageurs et les pathogènes	Il existe de nombreux ravageurs des chênaies (chenilles, oïdium, hanneton, agriles, scolytes, collybie et encre du chêne) mais les dégâts qu'ils occasionnent restent limités en dehors de récurrences d'attaques ou d'interaction avec les contraintes climatiques (Nageleisen <i>et al.</i> , 2010). Avec l'augmentation des températures hivernales, l'occurrence d'infection par l'oïdium augmentera (Marçais <i>et al.</i> , 2000). L'impact sur les gradations de chenilles défoliatrices n'est pas connu, mais l'affaiblissement des chênes par des sécheresses intenses et/ou récurrentes les rendra plus vulnérables aux agents biotiques (Bréda <i>et al.</i> , 1998).
Fréquence des incendies	Une augmentation marquée du risque incendie est attendue dès 2040 (Chatry <i>et al.</i> , 2010 et données Météo France).

Modifications dues au CC sur ↓	Description des modifications attendues et de leurs effets potentiels sur la productivité, la mortalité et la régénération
Durée de la saison de végétation, risque de gel tardif et augmentation des températures hivernales	Dans cette région, des allongements de la durée de la saison de végétation attribués au réchauffement sont attendus. Ils seront compris pour les essences décidues, entre 6 et 12 jours à l'horizon 2050 et entre 8 et 25 jours à l'horizon 2085 selon les scénarios utilisés (Lebourgeois <i>et al.</i> , 2010). Si les saisons de végétation s'étendent, le risque de gels précoces à l'automne pourrait s'accroître, provoquant des dommages sur des chênes non endurcis. Un débourrement plus précoce pourrait provoquer, quant à lui, une apparition plus rapide du stress hydrique du fait de la diminution anticipée des stocks d'eau dans le sol (Bréda <i>et al.</i> , 2000) et une vulnérabilité accrue aux gels tardifs au printemps. Dans ce dernier cas, les conséquences sont assez semblables à une défoliation (Bennie <i>et al.</i> , 2010), avec un risque d'infection par l'oïdium des nouvelles pousses. Les allongements de la fin de la saison de végétation n'auront lieu qu'en dehors de rétro-actions négatives sur le bilan hydrique les années à déficit en eau.
Augmentation de la disponibilité du CO ₂	Pour les chênes sessile et pédonculé, l'augmentation de la concentration en CO ₂ entraîne d'une part, une augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau (effet "anti-transpirant" du CO ₂) (Guehl <i>et al.</i> , 1999) et, d'autre part, une stimulation de la production de biomasse. Ces auteurs ont également démontré que pour le chêne pédonculé, la combinaison de concentration en CO ₂ élevée et de contraintes hydriques prononcées entraîne une augmentation sensible de la quantité de carbone perdue par la plante par unité de carbone photoassimilé, annulant ainsi les effets de l'augmentation du CO ₂ sur la production de biomasse, et de l'efficacité d'utilisation de l'eau.

■ Synthèse : effet du changement climatique sur le système étudié

L'augmentation attendue des sécheresses devraient entraîner des dépérissements et des mortalités chez le chêne pédonculé ainsi que chez le chêne sessile, notamment si ces aléas climatiques sont associés à des aléas biotiques (chenilles défoliatrices, oïdium, etc.). L'augmentation prévue des températures aura, par ailleurs, un effet sur la durée de la saison de végétation. Ce phénomène pourrait accroître fortement le risque de dégâts liés aux gels tardifs et aux gels précoces, et une apparition du déficit hydrique anticipée. Le risque d'incendie augmentera fortement, nécessitant la mise en place de systèmes de lutte et de prévention. Les effets de l'augmentation du CO₂ sur la productivité et l'efficacité de l'utilisation de l'eau ne permettront pas de compenser les impacts de la sécheresse, notamment pour le chêne pédonculé.

3. Options d'adaptation à l'échelle de l'exploitation et de son territoire

■ Option C1 : Remplacement du chêne pédonculé par du chêne sessile et diversification en résineux (pin maritime)

Confronté au dépérissement de certains chênes pédonculés, le propriétaire est conscient de la nécessité de modifier sa gestion. Cependant, il reste confiant et préfère privilégier une adaptation très progressive au profit du chêne sessile. Sa stratégie vise à remplacer progressivement le chêne pédonculé par le chêne sessile lors des coupes de régénération. 50% de l'effort de régénération (soit 1 750 ha) est à effectuer d'ici 2035. La régénération naturelle est envisagée dans les peuplements où la densité de chênes sessiles est suffisante. Dans les autres cas, une régénération artificielle est mise en place par plantation.

Les futaies mixtes de chêne (pédonculé et sessile) en place (2 500 ha) sont gérées selon une sylviculture adaptative, les éclaircies sont réalisées régulièrement et le sous-étage est maîtrisé afin de limiter la compétition pour l'eau. L'état sanitaire reste à surveiller jusqu'à ce que ces peuplements aient atteint le diamètre d'exploitabilité. Dans ces jeunes futaies, la proportion de chêne pédonculé est méconnue. Les éclaircies sont réalisées de manière à favoriser le chêne sessile (« sessilisation » progressive des peuplements).

Les chênes pédonculés sont maintenus uniquement dans une zone très restreinte (quelques hectares) correspondant à la station la plus favorable et dans laquelle, l'enjeu de protection du milieu est important.

Les peuplements dégradés de chêne en mélange avec le pin sylvestre ainsi que les landes non boisées sont remplacés progressivement par des plantations résineuses de pin sylvestre et de pin maritime. Dans ces peuplements, 50% de l'effort de reconstitution (soit 150 ha) sont à effectuer d'ici 2035 et l'objectif reste la production de bois d'œuvre de pin maritime avec des révolutions de 60 ans pour un diamètre 55-60 cm.

■ Option C2 : Segmentation des fonctions avec maintien des investissements limité aux zones favorables

Le propriétaire est conscient des risques qu'il prend au vu des évolutions annoncées du climat : probable augmentation importante des dépérissements de chêne pédonculé avant que le diamètre d'exploitabilité ne soit atteint et possibilité d'apparition de dépérissements de chêne sessile dans les certaines zones. Il décide de mener une sylviculture diversifiée en termes d'objectifs de production et de protection pour réduire ces risques.

La productivité des chênes non affectés par le dépérissement est réduite par les sécheresses récurrentes et les aléas biotiques. Face à cette situation, la stratégie est de différencier les fonctions de la forêt avec un retour à l'état naturel dans les zones moins productives et un maintien des investissements dans les zones favorables. La production de bois d'œuvre de chêne reste un des objectifs mais devient moins prépondérante à l'échelle du massif.

Les zones de dépérissement du chêne pédonculé et du sessile sont remplacées soit par des plantations de pin maritime, soit par des plantations de chêne pubescent. Les plantations de pins sont menées pour la production de petits sciages avec des révolutions courtes (25 ans) et de bois d'œuvre en révolution standard (35-45 ans). Cet investissement sur le pin suppose le développement d'une filière spécifique à l'image de celle des Landes. Les plantations de chêne pubescent sont réalisées dans un objectif de production de bois d'œuvre.

Dans les zones qui restent favorables au chêne sessile, une sylviculture adaptative est mise en œuvre : réduction des densités et maîtrise de la concurrence herbacée. Cette sylviculture adaptative est menée dans les peuplements âgés de plus de 40 ans. Dans les peuplements plus jeunes, la révolution est largement réduite et ramenée à 100 ans (sylviculture dynamique), afin de réduire l'exposition aux aléas climatiques.

Une partie des zones les moins productives (chênaies acidiphiles hydromorphes et hyper-acidiphiles) est utilisée pour la production de biomasse : taillis à courte rotation utilisant des essences feuillues (bouleau, peuplier grisard, etc.) ou résineuses (pins, etc.).

Dans le reste de ces zones et dans les zones fortement touchées par des dépérissements, la gestion est abandonnée au profit de la création d'îlots de sénescences. Ce choix de gestion a pour conséquence le retour d'une partie de la forêt à l'état de lande plus ou moins boisée, à forte valeur patrimoniale et dans une moindre mesure, à l'état de pelouse calcicole.

L'augmentation du risque incendie, amplifiée par la substitution en pin, nécessite la mise en place de mesures de prévention (pare-feux, etc.) et de lutte.

■ Option C3 : Substitution d'essences et réduction de la durée des rotations (bois énergie)

Soucieux des risques annoncés de dépérissement du chêne sessile, le propriétaire ne voulant prendre aucun risque envisage un remplacement par des essences feuillues mieux adaptées aux conditions futures. Il consacre également une très large partie de sa forêt à la production de bois énergie en rotations courtes. Son objectif devient clairement un objectif de production orienté vers le bois-énergie.

Sur les sols hydromorphes, des feuillus sont utilisés en substitution, sur la base des essais réalisés dans d'autres forêts (ex : essais Inra en forêt de Tronçais). Les essences concernées sont le bouleau, le peuplier grisard et l'alisier torminal.

Sur les sols moins contraignants, des plantations de pin maritime sont réalisées pour la production de bois d'œuvre, en révolutions courtes (25 ans) et pour la production de biomasse, en itinéraires dédiés (à révolution de 9 ans pour la biomasse et de 35 ans pour le reste du peuplement) ou en itinéraire biomasse (à révolution comprise entre 8 et 12 ans en utilisant les variétés améliorées disponibles).

Viticulture dans le Beaujolais *

1. Diagnostic de l'exploitation et de son environnement proche

■ Caractéristiques de l'exploitation

Indicateurs	Valeurs	Remarques
SAU	14 ha	
UTH	1,6 dont 1,4 familiaux	Charge de travail excessive (travaux manuels dominants)
Production	550 hL	Dont 95 % vrac et 5 % bouteilles (4 500 bouteilles)
Appellation	Beaujolais et Beaujolais village	Partie Sud du vignoble
Plantation	De 8 000 à 10 000 cep/ha Cépage : Gamay	Vigne de 50 ans (vieillissante) Diversification récente : arrachage de Gamay pour du Chardonnay, dans de faibles proportions
Parc matériel	Vétuste	(Amortissements/valeur neuf) = 85 %
Vendanges	Manuelles	Développement du mécanique
Bâtiments	Cuverie	1,5 fois la récolte
Atouts	Faible endettement	Faible BFR (rapidité encaissement)
Contraintes	Très dépendant du négoce et de la vente en Beaujolais « nouveau »	Adaptation au marché (en régression pour le Beaujolais « nouveau ») et précocité des cépages
	Sensibilité à la grêle	
Perspectives d'avenir	Vignoble vieillissant et inadapté	Restructuration et renouvellement des vignes
	Avenir dépendant des rendements autorisés et de la maîtrise des coûts de production	

Source : INOSYS - Réseau viticulture, cas-type G31 « Vente vrac négoce Beaujolais, Beaujolais Villages », Chambre d'agriculture du Rhône, 2010.

Ce cas-type représente un quart des exploitations du Beaujolais et a été réalisé « à dire d'experts » à partir de six cas réels.

Les cépages Chardonnay et Gamay présentent à peu de choses près les mêmes caractéristiques de précocité : cépages de première époque.

Le cycle phénologique de la vigne se décompose en trois principaux stades : le débourrement (ouverture des bourgeons à la mi-avril dans le climat actuel), la floraison (ouverture des fleurs, début de la fécondation et de la formation de baies, vers fin mai-début juin) et la véraison (début de la maturation).

■ Ateliers de production et résultats économiques ¹

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Produit brut 101 000 €		
Vin vrac	70 000 €	69 % du Produit Brut
Vin bouteilles	15 000 €	15 % du Produit Brut
Charges 79 000 €		
Charges opérationnelles	39 000 €	70 % approvisionnements vignes et vendanges
Charges de structures	40 000 €	(dont 16 000 € d'assurances récolte)
EBE 22 000 €		
Charges financières	12 000 €	
Disponible pour prélèvements privés et autofinancement	10 000 €	7 000 € / UTH familial
Atouts	Faible besoin en fonds de roulement	
Faiblesses	Très faible revenu disponible Fragilité économique	Possibilité de reprise jugée faible Dépendant du cours du vrac

Source : INOSYS - Réseau viticulture, cas-type G31 « Vente vrac négoce Beaujolais, Beaujolais Villages », Chambre d'agriculture du Rhône, 2010.

■ Contexte local

Le département du Rhône compte près de 8 300 exploitations. Le vignoble n'occupe que 16 % de la SAU mais le vin représente 45 % des exploitations et près de la moitié du poids économique de l'agriculture départementale (viennent ensuite le lait et les produits laitiers, les grandes cultures et le maraîchage).

Le Beaujolais est un ensemble collinaire situé au nord-est du Massif central, bordé à l'Est par la vallée de la Saône et à l'Ouest par la vallée de la Loire. Le vignoble du Beaujolais s'étend sur 19 000 hectares en 2011 pour une production de près de 900 000 hectolitres en 2011. Cette production est principalement réalisée en vin rouge avec quelques blancs et rosés. Il existe douze appellations en Beaujolais : Beaujolais, Beaujolais Village et dix « crus » référencés (Brouilly, Côtes de Brouilly, Chénas, Chiroubles, Fleurie, Morgon, Julienas, Moulin à vent, St-Amour et Régnié). Une grande originalité du Beaujolais est qu'il est issu à 98 % d'un seul cépage : le Gamay noir. On trouve également du Chardonnay pour les vins blancs (800 hectares). Le Gamay a un cycle court et est classé dans les cépages précoces. Certains nouveaux cépages qui viennent du Sud commencent à progresser (Syrah, Viognier, etc.). La plantation de ces nouveaux cépages est motivée par des raisons avant tout commerciales dans une logique de diversification de la gamme, pour la vente hors appellations du Beaujolais.

L'appellation concerne deux grandes zones. La première, au sud du vignoble, se situe au Sud-ouest de Villefranche

* Cette fiche, rédigée en février 2012, est le résultat des contributions de Sylvain Doublet, Fabienne Portet, Bernard Itier, Iñaki Garcia de Cortazar-Atauri (INRA), Eric Duchêne (INRA), Axelle Verniol (chambre d'agriculture du Rhône).

1. Résultats économiques des exercices 2007-2008 et 2008-2009.

(paysage de collines couvertes de vignes). La seconde zone s'étire en direction du nord, en une bande presque continue, depuis Villefranche jusqu'à la Saône-et-Loire, sur les premiers coteaux, longeant la vallée de la Saône. Récemment, les arrachages ont considérablement modifié le paysage et certaines collines ne sont plus couvertes de vignes.

Le cas d'étude se situe dans la partie Sud du vignoble (appellation Beaujolais). L'appellation Beaujolais (7 500 ha) concerne essentiellement trois cantons (Villefranche, Anse et Le Bois-d'Oingt) et 72 communes dans lesquelles la viticulture est soit l'activité unique (c'est le plus grand nombre), soit associée à une autre production : fruits, maraîchage, polyculture².

Sols

Les sols sont pauvres et constitués de dépôts sédimentaires argilo-calcaires qui datent de l'ère secondaire. On y trouve des roches variées : grès, calcaire blanc, calcaire à gryphées, pierre dorée. Les calcaires et leurs sols argileux ou caillouteux donnent des terres gardant l'humidité et la fraîcheur. L'épaisseur du sol est faible (quelques dizaines de centimètres) et les cailloux nombreux. Les sols sont souvent riches en calcaire. Ce sont des terres peu profondes, qui alternent avec les terres gréseuses. Les terrains argilo-calcaires sont des terrains plutôt froids, ne favorisant pas la maturation précoce des raisins ; les vendanges ne s'y font pas très tôt. Les vignes des bas de coteaux à proximité du val de Saône, cailloutis alluviaux mêlés d'argile, sont plutôt précoces pour la maturation. La présence de pentes importantes, sur près de 30 % du vignoble, engendre un risque d'érosion localement très fort.

Caractéristiques des sols du Rhône

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Pentes	Moyennes à fortes	30 % du vignoble > 25 %
Texture	Sablo-argileuse Argilo-limoneuse	< 25 % argile en moyenne et 35 % d'éléments grossiers
Fertilité chimique	Moyenne	pH entre 6 et 8, CEC faible, bonne saturation
Carbone organique	Faible à très faible	En moyenne 10 g/kg (MO < 2 %)
Sensibilité à la battance	Pas sensible	
Hydromorphie	Quelques zones hydromorphes	
Réserve utile	Faible	< 50 mm

Source : GIS Sol.

Climat

Le climat du vignoble est de type semi-continentale, il subit également l'influence du climat océanique et l'influence méditerranéenne. L'ensoleillement moyen est de 1932 heures/an. Les hivers sont froids et secs avec des vents du Nord. Au printemps, les risques de gelées tardives sont présents à cause du vent. Le vignoble bénéficie d'une influence méditerranéenne (les étés sont chauds avec un fort risque orageux). Les monts du Beaujolais protègent le vignoble contre les vents d'Ouest. Ce vent d'Ouest est asséché et réchauffé grâce à ces monts (l'effet de Föhn). Les vignes sont exposées au Sud-Est et sont plantées sur des vallées, ce qui favorise une multiplicité de microclimats.

Les épisodes climatiques extrêmes peuvent être³ :

- neige : 14 jours par an ;
- orage : 22 jours par an (avec grêle fréquente) ;
- brouillard : 40 jours par an.

Ressource en eau

La qualité de l'eau est très marquée par les activités viticoles. Le territoire du Beaujolais a été identifié comme une zone prioritaire de lutte contre la pollution des eaux superficielles par les produits phytosanitaires.

Sur l'ensemble du territoire, la faiblesse des débits d'étiage sur les parties aval, voire médianes, des cours d'eau pose des problèmes écologiques et qualitatifs. Ces faibles débits sont liés au fonctionnement naturel des rivières (aggravé par la mise en place de dérivations). Des programmes de soutien d'étiages et de recherche de nouvelles ressources (forage en nappes) sont en cours d'élaboration⁴.

2. Effets du changement climatique sur le système d'exploitation

Description du changement climatique et des impacts attendus

Les données suivantes sont issues de simulations climatiques mensuelles réalisées spécifiquement pour cet exercice à partir de données Météo France. Elles concernent d'une part une période de référence centrée en 1985 allant de 1971 à 2000. D'autre part, elles concernent une seconde période future centrée en 2050 (l'horizon temporel de la présente étude prospective) allant de 2036 à 2065.

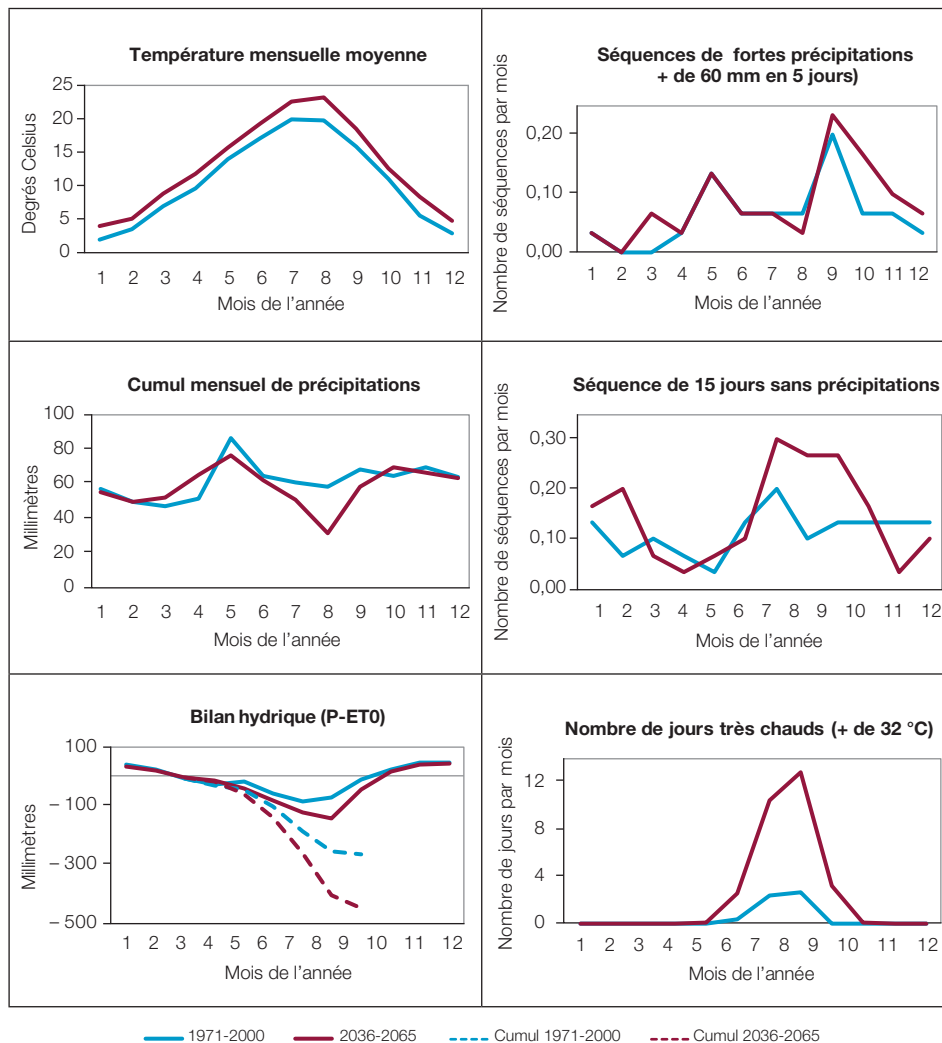
Pour cette étude de cas, les principaux résultats disponibles dans la littérature sur les impacts du changement climatique sont issus de l'étude Climator (simulations sur le site de Dijon). Par souci de cohérence, il a été décidé de recueillir les données climatiques de la station météorologique de Dijon et non pas de la station la plus proche du cas étudié (Villefranche ou Mâcon).

2. Source : Chambre d'agriculture du Rhône.

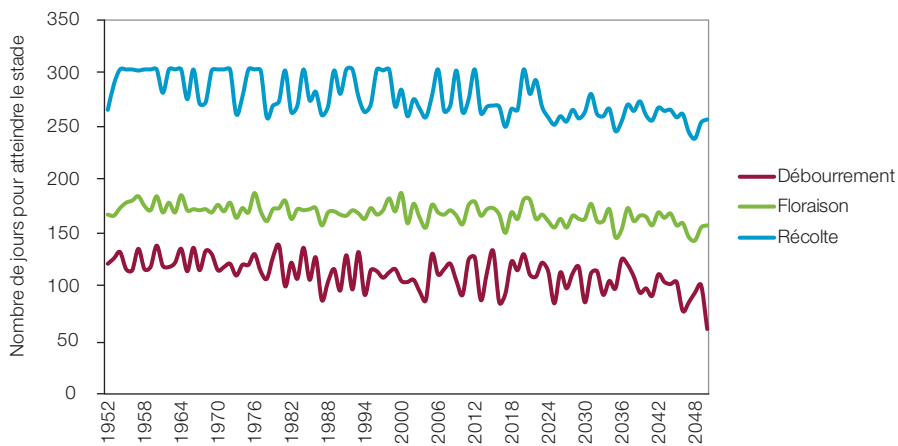
3. Source : Météo France.

4. Source : Contrat des rivières du Beaujolais.

Station de Mâcon

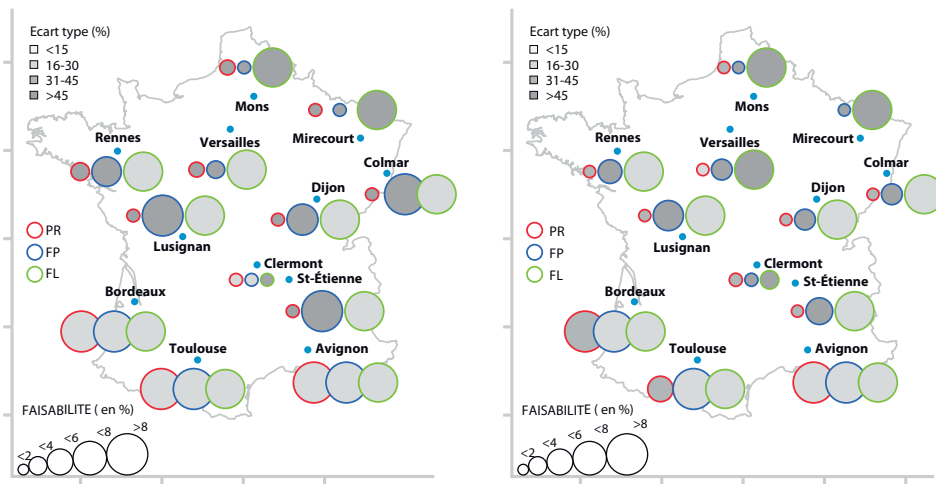


Évolution du cycle phénologique



Source : Brisson et Levraut (2010). Vigne en sec, Dijon, cépage Chardonnay.

Faisabilité du Merlot (moyenne 2021-2050)



Source : Brisson et Levraut (2010). Moyennes sur 30 ans et écarts-types (climat A1B, régionalisation par type de temps à gauche et quantile-quantile à droite). L'évolution de la faisabilité traduit l'avancée de la phénologie et donc l'extension vers le Nord de la zone de production potentielle. Plus le cercle est large, plus la faisabilité est élevée.

La comparaison entre les périodes 1971-2001 et 2036-2065 montre :

- une augmentation des températures relativement homogène sur l'année de 2°C (plus marquée sur juillet-août avec +3°C) ;
- un cumul de pluie très dégradé de juillet à septembre (réduction de 50 mm pendant cette période) ;
- un déficit hydrique (P-ET0) également très dégradé de juillet à septembre (200 mm d'écart entre les 2 périodes étudiées) ;
- une réduction faible du nombre de jours de gel au printemps ;
- une augmentation du nombre moyen mensuel de séquences de 15 jours sans pluie (< 0,2 mm) de juillet à septembre ;
- un quintuplement du nombre de jours où la température moyenne dépasse les 32°C. Ce paramètre est un indicateur de stress thermique pour la vigne : au-delà de ce seuil, les baies grillent ;
- une avancée du cycle phénologique de 8 à 10 jours ;
- en 2050, la station de Dijon devient apte à la culture du Merlot.

Effets du CC sur ↓	Description
Aléas climatiques et destruction des récoltes	Le nombre de jours de gel diminue avec le réchauffement, mais l'avancée du débournement augmente le risque des gelées printanières (ONERC, 2006).
	Le risque de flétrissement augmente à partir de juillet, nécessitant éventuellement la mise en place d'irrigation sous réserve de disponibilité de la ressource (Brisson et Levraut, 2010).
	L'augmentation du nombre de jours où la température dépasse 32°C (stress thermique) peut se traduire par des baisses de production.
Pression parasitaire	La hausse des températures et de la teneur en CO ₂ inhiberait certains champignons et parasites (botrytis, mildiou, cochylis) mais en favoriserait d'autres (eudémis, cochylis, oïdium, cicadelle vectrice de la flavescence dorée). Ces données sont empiriques, issues d'observations, mais leur lien avec le réchauffement n'est pas clairement établi (ONERC, 2006).
Sol (humidité, matière organique, salinité, érosion)	Pour le milieu naturel, on peut s'attendre à une réduction importante des restitutions (drainage) et donc à une aggravation des étages déjà observés (Brisson et Levraut, 2010 et ONERC, 2006).
Disponibilité en eau	Diminution faible du confort hydrique à Dijon (Brisson et Levraut, 2010).

■ Effets attendus du changement climatique sur les cultures du système étudié

Effets du CC sur ↓	Description
Stades phénologiques	Avancée du cycle de culture entre 8 et 10 jours (Brisson et Levraut, 2010).
Rendements	Une meilleure valorisation du CO ₂ liée à l'avancée du calendrier phénologique pourrait entraîner une hausse des rendements en vigne à Dijon (Brisson et Levraut, 2010), mais l'augmentation du nombre de jours où la température dépasse 32°C (stress thermique) peut se traduire par des baisses de production.
Périodes des récoltes	Avancée de la date des vendanges.
Qualité des récoltes	Les conditions plus chaudes et sèches pendant la phase de maturation, ainsi que la fraîcheur des nuits influencent le stockage des sucres et impactent négativement la qualité du vin (Brisson et Levraut, 2010 et ONERC, 2006). Risque de perte de typicité.

■ Synthèse : effet du changement climatique sur le système d'exploitation

Depuis les années 1990 en France, l'augmentation des températures a impacté la précocité de la vigne par l'avancée des stades phénologiques de trois semaines, voire un mois dans certaines régions, par rapport aux moyennes du milieu du siècle dernier (ONERC, 2006). Les caractéristiques des raisins récoltés ont également changé (rendements plus faibles et degrés plus élevés), entraînant une évolution des techniques de vinification.

Concernant le futur, on peut retenir deux effets majeurs : la modification de la qualité du vin entraînant un risque de perte de typicité et une incompatibilité avec le cahier des charges de l'AOC et l'augmentation des rendements (à condition que le confort hydrique ne soit pas trop détérioré dans le Beaujolais). Les principaux risques climatiques seraient maintenant voire accrus (gel printanier, stress thermique).

3. Options d'adaptation à l'échelle de l'exploitation et de son territoire

Des leviers d'adaptation pourraient être mobilisés lors de l'étape de la vinification (procédés de dés-alcoolisation, choix de souches de levures plus tolérantes à l'alcool). Étant donné le cadrage des études de cas, nous ne développons pas ces techniques dans le cadre de cette fiche.

De manière générale, l'évolution passée et présente de la vigne dans le Beaujolais semble avant tout liée à des facteurs économiques et non à l'adaptation aux conditions climatiques ou à l'anticipation du changement climatique. A court terme, les stratégies de valorisation commerciale vont donc certainement peser davantage sur l'évolution de l'exploitation que les stratégies d'adaptation liées aux effets du changement climatique.

■ Option V1 : Compenser une partie des effets du changement climatique par les pratiques culturales

Dans un contexte de confort hydrique peu voire pas dégradé, l'objectif est de limiter les effets de l'augmentation des températures et du rayonnement sur la qualité des grains. La perte de qualité peut être évitée en jouant sur l'utilisation de l'espace, c'est-à-dire par des actions d'« évitement » (implantation sur les coteaux Nord, palissage haut créant des zones d'ombre) ou encore sur les pratiques culturales : refroidissement par irrigation, abandon de l'effeuillage. L'enherbement des sols nus, pratique déjà mise en place dans le Sud du Beaujolais, permet de réduire l'évapotranspiration grâce à la présence d'adventices au sol, à condition d'utiliser des espèces adaptées. La mise en place de mulchs ou paillages permet aussi une protection thermique et une meilleure utilisation de l'eau.

Dans cette option, les adaptations des modes de conduite permettent d'atténuer en partie seulement les effets du changement climatique. Par conséquent, la qualité du vin ainsi que son potentiel commercial seraient modifiés. Les questions d'acceptabilité par les consommateurs et de conformité au cahier des charges AOC se poseraient.

■ Option V2 : Miser sur les rendements avec le développement de l'irrigation

D'après les simulations sur le site de Dijon dans l'étude Climator, la mise en place de l'irrigation permettrait de maintenir le confort hydrique de la vigne au moins à son niveau actuel. Cette option d'adaptation correspondrait à une stratégie coûts/volumes de la part de l'exploitant, visant à maximiser le rendement. Cette option serait intéressante dans le cas où la baisse du confort hydrique est plus marquée que prévue, mais représente un investissement important. De plus, elle n'est réalisable que sur faible pente (les sols du Beaujolais étant très érosifs).

■ Option V3 : Changer de cépage pour une variété adaptée au stress hydrique au détriment de l'AOC

Face à d'importantes difficultés pour la mise en place de l'irrigation, un nouveau projet viti-vinicole se développe sur le terroir, conduisant à adopter de nouvelles variétés plus tardives donc plus adaptées aux conditions plus chaudes et sèches et profitant de l'augmentation de la concentration en CO₂ (Merlot, Syrah, Grenache).

Cette option s'appuie sur la tendance récente à l'implantation de Chardonnay. L'AOC actuelle serait abandonnée, ce qui nécessite une forte mobilisation de l'ensemble de la filière vers ce nouveau projet.

■ Option V4 : Réorientation vers d'autres cultures (fruits secs, cultures énergétiques) voire boisement

En cas de manque de mobilisation ou de crise de la filière, l'abandon de la viticulture pourrait se faire au profit de cultures moins demandeuses en eau et sur des parcelles mécanisables : arboriculture (fruits secs), cultures énergétiques (jatropha, miscanthus). Sur les terres les plus sensibles à l'érosion ou difficilement mécanisables, le boisement serait possible.

Forêt de douglas en Limousin *

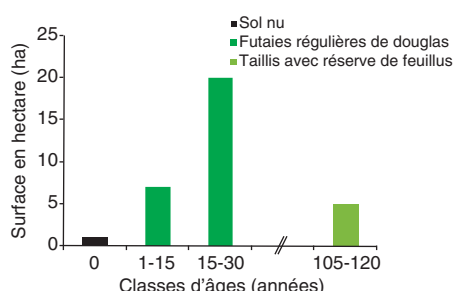
Le cas étudié se situe en forêt privée dans le département de la Creuse. Le cas d'étude couvre une surface de 30,5 hectares principalement recouverte de futaie régulière de douglas.

1. Diagnostic de l'unité de gestion forestière et de son environnement proche

■ Caractéristiques de l'unité de gestion forestière

Cette forêt privée est principalement constituée de deux types de peuplements : des futaies régulières de douglas et des taillis de chêne et de hêtre avec réserve. Les peuplements de douglas sont majoritaires et relativement jeunes (moins de 30 ans). Ils sont issus de plantations débutées en 1985. La distribution en classe d'âge des peuplements de douglas est donc relativement déséquilibrée (cf. Figure 1). Les deux modalités de la distribution des classes d'âge sont, d'une part, les peuplements de douglas jeunes et d'autre part, des taillis de chêne et de hêtre avec réserve âgée.

Figure 1 : Répartition des surfaces par classes d'âge



Source : Société forestière .

Futaie régulière de douglas

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Surface	24 ha	80 % de la surface totale, dont deux hectares sont en mélange avec du chêne, en lien avec à la reprise d'accrus après la plantation
Origine des peuplements	Plantation	
Age des peuplements	De 5 à 27 ans	Première vague de boisements entre 1985 et 1990 puis une deuxième vague de 2003 à 2007 pour reconstituer des peuplements affectés par la tempête de 1999
Historique de gestion	Plantation à 1100 tiges/hectare, dégagements, élagage à 2 m, dépressage vers 13 ans et/ou première éclaircie entre 16 et 20 ans	

* Cette fiche, a été rédigée en avril 2012, par Anne-Sophie Sergent, avec les contributions des experts forestiers du groupe AFClm et de Jean-Marie Righi (CRPF limousin).

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Itinéraire sylvicole envisagé jusqu'à l'exploitation	Première éclaircie et un élagage à 6 m à 16-20 ans puis, vers 25 ans une deuxième éclaircie. Exploitation par coupe rase à partir de 35 ans pour un volume sur pied par arbre de 1,6 m ³ et une hauteur de 25 à 30 m. Objectif de production : bois d'œuvre et bois d'industrie	

Taillis de chêne et de hêtre avec réserve

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Surface	5 ha	15 % de la surface totale
Origine des peuplements	Régénération naturelle	
Age des peuplements	110 ans	Age approximatif
Historique de gestion	NR	
Itinéraire sylvicole envisagé jusqu'à l'exploitation	Objectif de production : bois d'œuvre, bois d'industrie et bois de chauffage. IRI La conversion en futaie de douglas n'est pas envisagée de par la valeur patrimoniale de ces taillis (habitat Natura 2000)	

Cette forêt est également composée de landes humides (0,5 ha) et d'un terrain nu boisable (1 ha).

Atouts	Peuplements bien desservis, facilité d'exploitation
Contraintes	Homogénéité des peuplements de douglas

Source des tableaux : Plan simple de gestion.

■ Productions et résultats économiques

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Productivité	16 m ³ /ha et /an	
Prix de vente du bois lors de la récolte finale	40 à 80 €/m ³	
Dépense actualisée	80 à 90 €/ha et /an	Variable en fonction de la durée de révolution (45 à 60 ans)
Recette actualisée	280 à 340 €/ha et /an	
Bénéfice actualisé	200 à 250 €/ha et /an	
Taux interne de rentabilité	4,6 % à 5,3 %	
Atouts	Le douglas est un bois de qualité. Pas de problème de débouchés	
Faiblesses	Rentabilité qui repose sur une seule essence. N'est valable qu'en l'absence de crise sanitaire ou climatique	

Source : CRPF Limousin - IDF, 2009.

La filière bois dans cette région est très active et les propriétaires forestiers relativement dynamiques, même si la part des peuplements résineux non gérés reste élevée (30 à 40 % des peuplements en 1990). Dans la région, la gestion est majoritairement tournée vers les résineux, notamment suite aux reboisements en douglas effectués après les tempêtes de 1982 et de 1999. Les peuplements feuillus n'ont, pour la plupart, pas été gérés depuis des décennies, principalement à cause de potentialités limitées et plus hétérogènes par rapport aux résineux. La dynamique de la filière bois dans cette région est très importante et le Limousin présente le taux d'emploi dans le secteur forêt-bois le plus important de France : 11 000 salariés directs et indirects pour plus de 2 000 établissements soit 3,6 % de l'emploi dans la région¹.

1. Source : APIB.

■ Contexte local

Contexte paysager et forestier

Située dans la partie nord-ouest du Massif-central, la région des plateaux limousins est relativement homogène en termes de paysage (paysage sylvo-pastoral sur hauts plateaux de moyenne montagne). Les reliefs ont pour caractéristique commune de ne pas être abrupts. La forêt domine sous forme principalement de futaies pures de résineux. Le cas étudié se situe dans une sylvoécocorégion (plateaux limousins) fortement boisée (59,4%)². Les forêts appartiennent surtout à des propriétaires privés (81,6%). Les forêts de production sont majoritaires et représentent 96,6% des surfaces boisées. Le douglas est la principale essence présente dans cette région (20 180 ha) suivi de l'épicéa (17 480 ha) et des chênes pédonculé et rouvre (16 960 ha)³.

■ Caractéristiques stationnelles, pédologiques et climatiques

Éléments environnementaux

Une partie des taillis de feuillus sont situés en zone Natura 2000. Cette situation nécessite la mise en place d'une gestion en adéquation avec les recommandations de gestion établies dans les documents objectifs, c'est-à-dire : le maintien de landes forestières, la conservation des arbres sénescents disséminés ou en îlots, et le maintien ou la création de clairières/trouées et de linéaires au sein de peuplements⁴. Ces actions peuvent faire l'objet de contrats Natura 2000. Une partie des peuplements résineux étant située en amont de cette zone, une attention particulière doit être portée lors de leur exploitation et de leur remplacement, afin de limiter les surfaces de coupe rase.

Caractéristiques stationnelles

Les peuplements sont situés à une altitude comprise entre 400 et 550 mètres. La géologie est caractérisée par une roche mère de type granitique. Les peuplements sont situés sur des versants orientés soit au nord soit à l'ouest.

Deux grands types de sols peuvent être distingués⁵ :

- les sols moyennement profonds (de 30 cm à 50 cm d'épaisseur), de type brunisol oligosaturé ou podzol ocrique, sont caractérisés par une acidité forte, une réserve utile faible et une prospection racinaire limitée. La potentialité de ces sols est faible ;
- les sols profonds (supérieurs à 50 cm d'épaisseur), de type brunisol oligosaturé, sont caractérisés par une faible richesse chimique et une réserve utile correcte. La potentialité de ces sols est moyenne.

Caractéristiques climatiques⁶

Le climat est de type tempéré océanique à légère influence montagnarde. Il est caractérisé par des températures moyennes annuelles assez faibles et un nombre de jours de gel important, avec des possibilités de gels précoces à l'automne et de gels tardifs au printemps. Les précipitations sont relativement élevées et bien réparties dans l'année avec

un nombre de jours de précipitations par an qui peut atteindre 150, soit près d'un jour sur deux. Une partie des précipitations tombe sous forme de neige. Des violents orages de grêle peuvent avoir lieu au printemps et en été.

Climat moyen période 1971-2000 – Station de Maisonisses dans la Creuse

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Pluviométrie annuelle	1173 mm	Pluviométrie importante et bonne répartition annuelle
Pluviométrie estivale	231 mm	Pas de déficit pluviométrique estival
Température moyenne annuelle	9,1°C	Température moyenne annuelle assez basse
Nombre de jours de gel	100 jours	Nombre de jours de gel important
Bilan Hydrique	+423 mm	Bilan hydrique climatique positif

Source : Météo-France.

2. Effets du changement climatique sur la forêt

■ Description du changement climatique

Évolution du climat moyen et des événements climatiques extrêmes (canicules, gels intenses)

Les données suivantes sont issues de simulations climatiques mensuelles réalisées spécifiquement par Météo-France pour cet exercice. Elles concernent trois périodes : une période de référence centrée sur 1985 allant de 1971 à 2000 (passé récent), une deuxième période future centrée sur 2035 allant de 2021 à 2050 (futur proche) et une troisième période future centrée sur 2071 à 2100 (futur lointain). Elles présentent l'évolution future du climat moyen et des événements climatiques extrêmes (canicule, gels intenses).

Évolution du climat moyen pour la station de Maisonisses dans la Creuse

Indicateurs	Valeurs (en évolution)		Remarques
	De 1985 à 2035	De 1985 à 2085	
Température	+ 1,5°C	+ 3,4°C	Augmentation importante de la température moyenne
Nombre de jours de gel	- 16 jours	- 28 jours	Réduction importante du nombre de jours de gel
Précipitations (cumul annuel)	- 109 mm	- 297 mm	Réduction de 9% en 2035 et de 37% en 2085
Précipitations (estivales)	- 44 mm	- 107 mm	Réduction de 19% en 2035 et de 46% en 2085
Bilan Hydrique	- 209 mm	- 594 mm	Bilan hydrique climatique fortement réduit dès 2035 et qui devient négatif à l'horizon 2085

Source : Météo-France.

La comparaison entre les périodes 1971-2001, 2021-2050 et 2071-2100 montre :

- une augmentation des températures moyennes dès l'horizon 2035 et qui s'accroît à l'horizon 2085, cette augmentation est plus marquée en période estivale ;
- une diminution du nombre de jours de gel et de la fréquence des gels intenses ;
- une augmentation très importante du nombre de jours où les températures maximales dépassent 35°C et un étalement de la période d'occurrence de ce phénomène ;

2. Source : IFN.

3. Source : IFN.

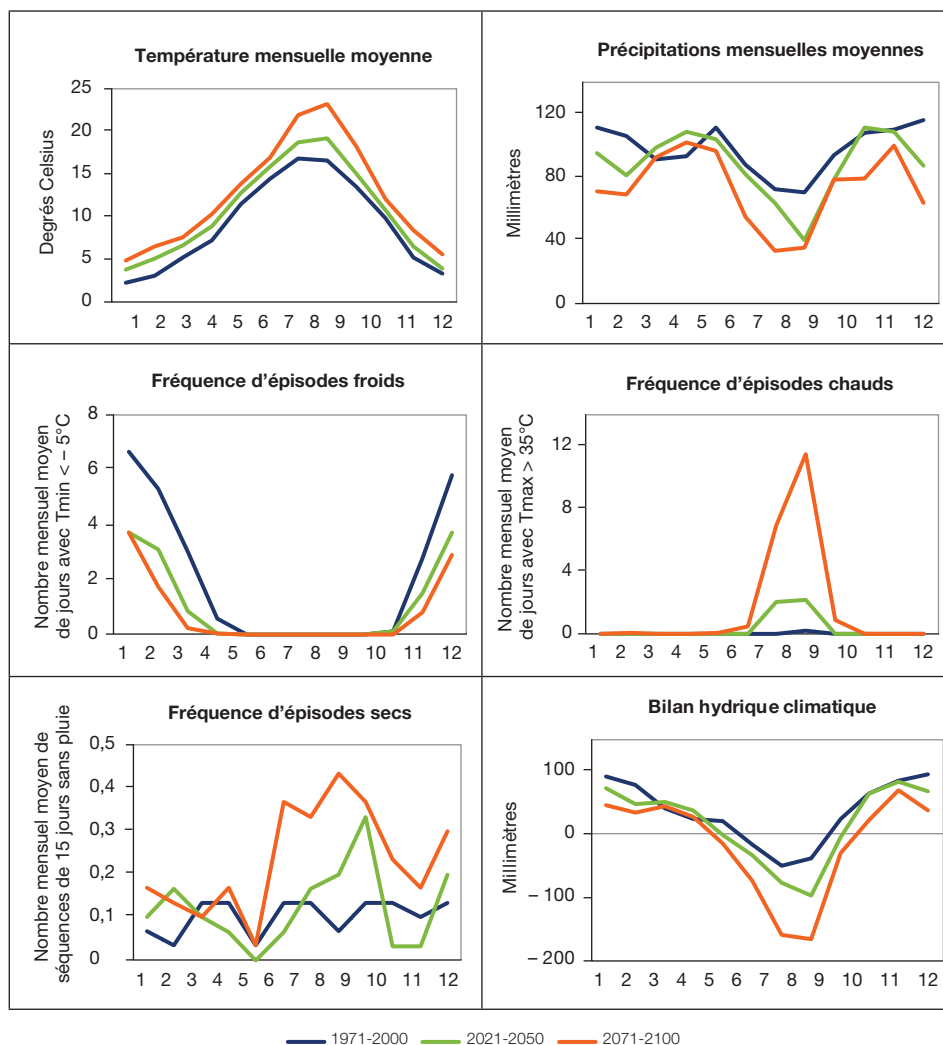
4. Source : MNHN.

5. Source : Guide simplifié des stations forestières du plateau de Millevaches (CRPF Limousin, 2001).

6. Source : Guide simplifié des stations forestières du plateau de Millevaches (CRPF Limousin, 2001).

- une réduction importante des précipitations dans le futur lointain, avec des écarts par rapport à la période de référence plus marqués au cours des périodes estivales et hivernales ;
- pour le futur lointain, une dégradation du bilan hydrique, particulièrement marquée de juin à août.

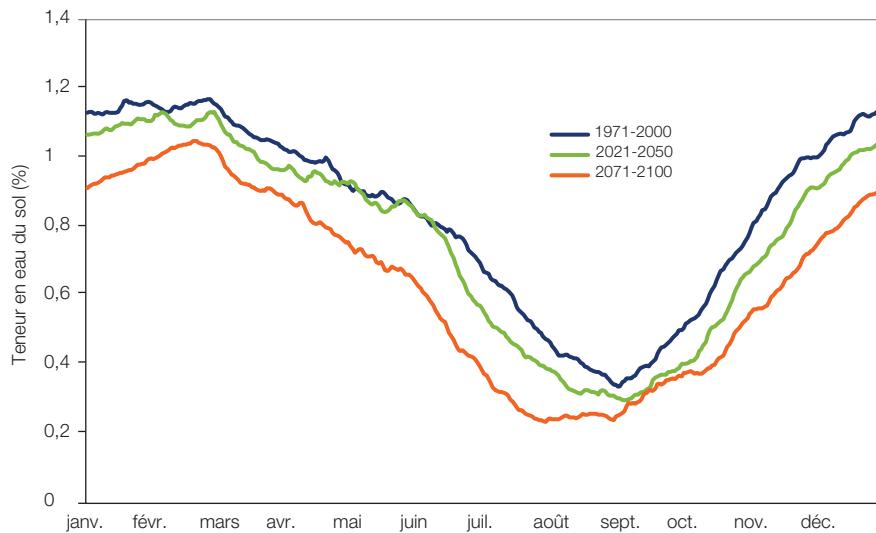
Figure 2 : Évolution mensuelle des principaux indicateurs météorologiques pour les périodes passé récent (1971-2000), futur proche (2021-2050) et futur lointain (2071-2100)



Source : Météo-France, Station Maisonisses.

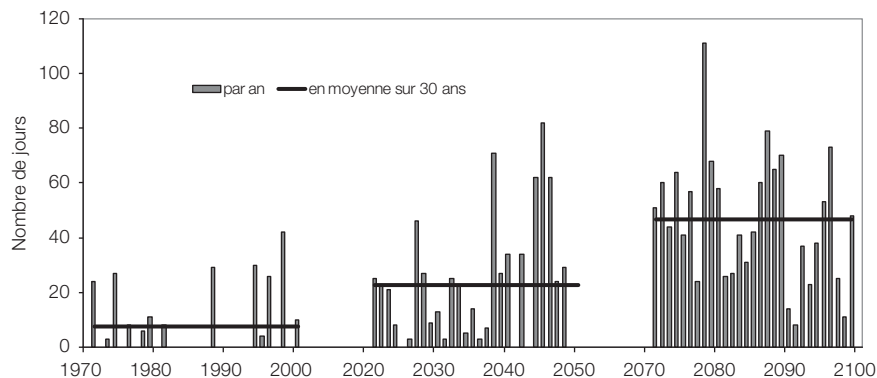
Évolution de la teneur en eau du sol et de l'intensité des sécheresses édaphiques

Figure 3 : Évolution annuelle de la teneur en eau du sol en moyenne sur une période de 30 ans



Source : Météo-France, maille SAFRAN à proximité du cas étudié, projet CLIMSEC – modèle ISBA.

Figure 4 : Évolution annuelle de nombre de jours de sécheresse intense pour les trois périodes étudiées



Source : Météo-France, maille SAFRAN à proximité du cas étudié, projet CLIMSEC – modèle ISBA.

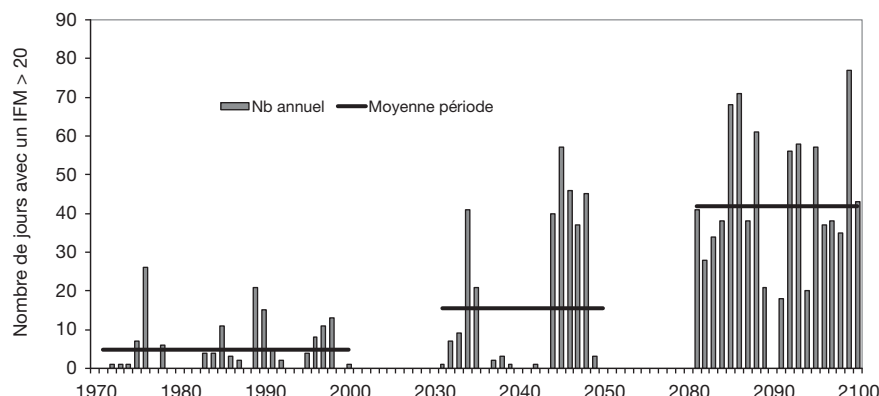
La comparaison entre les périodes 1971-2000, 2021-2050 et 2071-2100 montre :

- une augmentation importante de la durée annuelle moyenne de sécheresse, qui passe de deux mois pour la période 1971-2000, à 3 mois pour la période 2021-2050 et à 4 mois et demi pour la période 2071-2100 ;
- la période de sécheresse estivale à l'horizon 2085 débutera en moyenne un mois et demi plus tôt dans la saison (fin juillet pour 1971-2000 et mi-juin pour 2071-2100) ;

- les sécheresses intenses seront plus fréquentes et plus longues. Pour la période 1971-2000 des épisodes de sécheresse intense n'ont lieu qu'une année sur dix avec une durée moyenne relativement courte (sept jours en moyenne). Dès la période 2021-2050, ces épisodes auront lieu neuf années sur dix avec une durée moyenne de trois semaines. Dans la période 2071-2099, ces épisodes auront lieu tous les ans avec une durée moyenne d'un mois et demi.

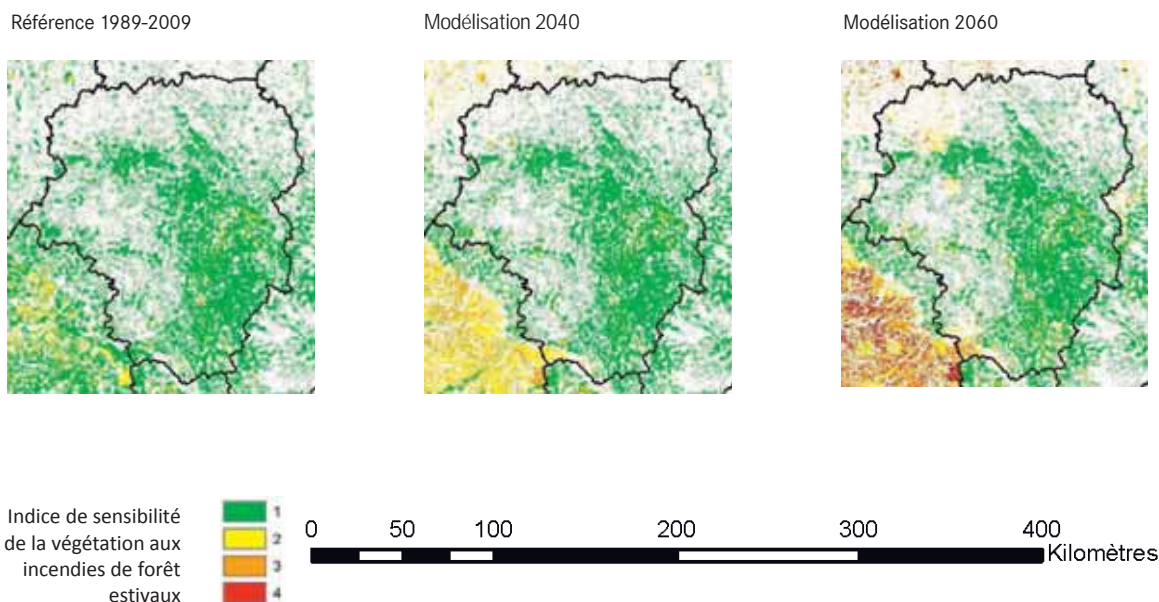
Évolution du risque incendie

Figure 5 : Évolution annuelle de nombre de jours où l'Indice Forêt Météo (IFM) dépasse la valeur seuil de 20 pour les trois périodes étudiées (1971-2000, 2031-2050 et 2081-2100)



Source : Météo-France, maille SAFRAN à proximité du cas étudié.

Figure 6 : Évolution du risque incendie en fonction de la sensibilité des forêts aux feux estivaux et du danger météorologique en Limousin



Source : Météo-France ; IFN et OFN, d'après Chatry *et al.* (2010).

La comparaison entre les périodes 1989-2008, 2031-2050 et 2081-2100 montre :

- une multiplication par 3,2 du nombre de jours où l'IFM dépasse 20 dans le futur proche et une multiplication par 8,6 dans le futur lointain ;
- une augmentation de la fréquence des jours où l'IFM excède 40, qui passe d'une année sur trente dans le passé proche à deux années sur dix dans le futur proche et à neuf années sur dix dans le futur lointain, avec une valeur moyenne de cinq jours par an durant cette période ;
- une augmentation de la fréquence du danger météorologique se traduisant par une très faible augmentation du risque d'incendie à l'horizon 2090, compte tenu des essences en place qui sont peu inflammables.

Effets attendus du changement climatique sur le douglas dans le système étudié

Modifications dues au CC sur ↓	Description des modifications attendues et de leurs effets potentiels sur la productivité, la mortalité et la régénération
Confort hydrique / fréquence et intensité des sécheresses	La croissance du douglas est particulièrement sensible à la sécheresse (Sergent <i>et al.</i> , 2012). Les réductions de croissance attendues sont proportionnelles à l'intensité des sécheresses. De plus, des sécheresses intenses et récurrentes peuvent entraîner des dépérissements et des mortalités. Avec le changement climatique, la productivité du douglas sera réduite et des dépérissements pourraient avoir lieu après 2040, d'autant que dans la région Limousin, les sols sont généralement à faible réserve utile, ce qui rend les peuplements plus vulnérables en cas d'aléa sécheresse.

Modifications dues au CC sur ↓	Description des modifications attendues et de leurs effets potentiels sur la productivité, la mortalité et la régénération
Interactions avec les ravageurs et les pathogènes	Le douglas est affecté par peu d'aléas biotiques car il a été introduit sans les principaux ravageurs et pathogènes de son aire naturelle (Nageleisen <i>et al.</i> , 2010).
	La rouille suisse est un champignon foliaire qui entraîne des pertes foliaires parfois importantes. Elles peuvent affecter la croissance si elles se répètent sur plusieurs années successives. Avec le changement climatique, l'augmentation des températures hivernales pourrait accroître son impact (Stone <i>et al.</i> , 2010).
	Le fomes est un pathogène qui entraîne une dégradation importante du système racinaire. Bien que son rôle dans le dépérissement du douglas n'ait jamais été mis en évidence et bien qu'il soit actuellement peu présent en Limousin, le changement climatique pourrait favoriser sa présence et accroître la sensibilité des arbres à la sécheresse en réduisant l'efficacité de leur système racinaire.
	Les scolytes sont des parasites de faiblesse dont les impacts risquent de se multiplier en cas de stress hydriques à répétition (Nageleisen <i>et al.</i> , 2010).
	Le rougissement physiologique est un problème lié à un déséquilibre hydrique hivernal entre parties aériennes en activité (transpiration par temps ensoleillé) et système racinaire au repos. Ce phénomène peut être sensible au changement climatique dans des proportions difficiles à estimer.
Fréquence des incendies	Les cartes des zones potentiellement sensibles aux incendies de forêt prévoient une faible sensibilité de cette forêt aux incendies estivaux. Cette faible sensibilité est principalement liée à la faible inflammabilité des essences actuellement présentes. Cependant, avec le changement climatique, le nombre de jours favorables au départ de feu va augmenter de manière importante (Chatry <i>et al.</i> , 2010). Ces prévisions devront être prises en compte si des substitutions d'essences sont envisagées.

Modifications dues au CC sur ↓	Description des modifications attendues et de leurs effets potentiels sur la productivité, la mortalité et la régénération
Durée de la saison de végétation et risque de gels tardifs	À l'horizon 2035 le débourrement devrait avancer de 20 jours en moyenne par rapport à la période récente. Cette avancée importante n'entraînera pas d'augmentation du risque de gels tardifs car la fréquence d'occurrence de jours où la température minimale est inférieure à -2°C après le débournement reste stable entre le passé récent et le futur proche (1 année sur 30). À l'horizon 2085, le débournement devrait avancer de 33 jours en moyenne. Le risque de gelées tardives augmentera légèrement et passera à une année sur dix*.
	L'augmentation des températures hivernales pourrait permettre un accroissement de la photosynthèse pendant cette période (Guehl, 1985). Cependant, les effets potentiels de cette augmentation de la photosynthèse hivernale sur le fonctionnement carboné de l'arbre restent méconnus.
	L'augmentation des températures hivernales pourrait permettre une augmentation de la photosynthèse pendant cette période.
Augmentation de la disponibilité du CO ₂	L'augmentation de la concentration atmosphérique en CO ₂ pourrait entraîner chez le douglas une augmentation de la photosynthèse. Elle ne se traduira pas forcément par une augmentation de productivité. De plus cette augmentation ne peut avoir lieu qu'en l'absence d'autres facteurs limitants et ne compensera pas les effets de l'augmentation des sécheresses (Olszyk <i>et al.</i> , 1998 ; Olszyk <i>et al.</i> , 2003).

* Simulation réalisée dans le cadre de la prospective, à partir des données de Météo-France et du modèle de débournement établi par Aussenac (1973).

■ Synthèse : effet du changement climatique sur le système étudié

L'augmentation des sécheresses affectera la productivité du douglas et pourrait entraîner des épisodes de dépérissements et de mortalités à l'horizon 2040. Les aléas biotiques pourraient augmenter cependant leur incidence sur la productivité et le risque de dépérissement reste difficile à évaluer. Le risque incendie ne devrait pas augmenter pour l'essence en place mais devra être pris en compte en cas de substitution d'essence. Le risque de gelées tardives n'augmentera pas dans un futur proche. En présence de facteurs limitants (fertilité minérale notamment), l'augmentation de la disponibilité en CO₂ ne devrait pas entraîner une augmentation de la productivité.

3. Options d'adaptation à l'échelle de l'exploitation et de son territoire

■ Option D1 : Maintien du système actuel et adaptation *a minima*

Le propriétaire estime qu'au moins dans un futur proche, les effets du changement climatique sur cette forêt seront limités et que des mesures adaptatives simples pourraient suffire pour éviter le dépérissement du douglas. Le douglas reste donc l'essence objectif.

L'itinéraire sylvicole repose sur des éclaircies régulières tous les 7 ans à partir de 15 ans, qui permettent de maintenir un facteur d'espacement supérieur à 23% tout au long de la vie du peuplement. À partir de 45 ans, le propriétaire peut décider soit d'effectuer la récolte définitive soit de maintenir le peuplement en faisant une ou deux éclaircies supplémentaires. Dans les zones les plus exposées à l'aléa tempête et sur les sols les moins profonds, les peuplements ne seront pas maintenus au-delà de 45 ans afin de limiter les risques. Au contraire, les peuplements les moins exposés aux aléas sécheresses et tempêtes seront maintenus au-delà de 45 ans. Ce maintien de certains peuplements permettra de diversifier progressivement les classes d'âges et d'étaler les coûts de renouvellement. L'élagage n'est réalisé que dans les peuplements les plus productifs et les moins vulnérables aux aléas. Une attention particulière sera portée à la préservation des sols lors des exploitations et des renouvellements des peuplements. Pour maintenir la fertilité, les rotations courtes seront évitées sur les sols les plus pauvres où les exportations seront compensées par des apports lors du remplacement des peuplements.

Les taillis de feuillus sont maintenus pour la production de bois (bois d'œuvre et bois de feu) et pour leurs valeurs écologique et patrimoniale.

La gestion sera flexible, avec pour objectif de palier les problèmes sanitaires ou climatiques qui pourraient survenir.

■ Option D2 : Diversification génétique et gestion adaptative

Conscient des effets à prévoir du changement climatique, le propriétaire souhaite agir pour limiter les risques. Il est prêt à modifier ses pratiques sylvicoles et à diversifier les origines génétiques de ses peuplements de douglas. Malgré les risques de dépérissements annoncés sur le Douglas, il choisit de le maintenir comme essence objectif tout en réduisant ses investissements.

Les sécheresses intenses et récurrentes devraient entraîner à moyen terme des dépérissements importants dans les peuplements situés sur les sols les moins profonds. Les arbres dépérissants sont récoltés de manière régulière et la durée de la révolution est réduite dans les peuplements dépérissants. Les peuplements sont reconstitués par régénération naturelle à partir des arbres sains restant, afin de bénéficier de la sélection naturelle et/ou en utilisant des provenances plus résistantes à la sécheresse (sous réserve qu'elles soient identifiées et disponibles dans les années à venir). L'utilisation couplée de la régénération naturelle et de la plantation permet d'assurer un brassage génétique à terme. Elle permet également d'éviter la coupe rase, la mise à nu des sols, la mise en lumière complète des jeunes plants et de maîtriser les coûts d'entretien. La régénération naturelle ne pourra cependant être envisagée que si le peuplement est maintenu au moins jusqu'à 45 ans. Les itinéraires sylvicoles sont modifiés : diminution des densités et de la durée de rotation pour réduire l'intensité et l'exposition au déficit hydrique. La diminution des densités, du diamètre d'exploitation et l'absence d'élagage entraînent une diminution de la qualité du bois et donc des prix de vente des arbres de ces peuplements.

Les peuplements non affectés sont maintenus et remplacés de façon progressive. Ces peuplements sont gérés selon l'itinéraire décrit dans l'option 1.

Le propriétaire peut également choisir de convertir ces peuplements non affectés en futaie irrégulière. Cette conversion pourrait lui permettre d'augmenter la résilience de ces peuplements, d'augmenter ses revenus et leur régularité en axant les récoltes sur le bois de qualité (Bruciamacchie, 2008). Cela permettrait également de supprimer les coûts de plantation. Les rotations de coupe seraient alors pratiquées tous les 4 à 5 ans en faveur des arbres de qualité.

Les taillis de feuillus sont maintenus pour la production de bois (bois d'œuvre et bois de feu) et pour leur valeur écologique et patrimoniale.

■ Option D3 : Remplacement d'une partie des peuplements de douglas

Suite aux dépérissements observés dans l'ensemble des peuplements à la suite de sécheresses intenses et récurrentes, le propriétaire souhaite changer partiellement d'essence objectif et diversifier ses productions en couplant production de bois d'œuvre et production de bois énergie. Il espère ainsi réduire les risques et maintenir la rentabilité de sa forêt. En dehors des effets du changement climatique cette option pourrait également être favorisée par une demande accrue de petits sciages et de bois énergie.

Les peuplements dépérissants situés sur les sols les moins profonds sont ainsi remplacés par des peuplements de pin sylvestre, pin laricio ou de bouleau pour la production de bois d'œuvre (transposition du modèle suédois pour le bouleau) voire de sapins méditerranéens ou de cèdres. Le recours aux feuillus comme les chênes sessiles ou pubescents adopté pour la production de bois d'œuvre et le châtaignier est envisagé pour la production de biomasse (sous réserve qu'ils soient indemnes de maladies et adaptés aux conditions stationnelles).

Dans un premier temps, de petites surfaces de ces essences sont plantées (notamment pour le cèdre et les sapins méditerranéens dont les introductions sont permises par l'augmentation des températures hivernales). Des plantations de plus large ampleur ne seront envisagées qu'en fonction des résultats de cette première introduction.

Les peuplements situés sur les sols les plus profonds sont gérés en réduisant la durée de rotation et en diminuant de façon importante les densités (cf. option 2).

Les taillis de feuillus sont gérés avec des rotations courtes dans un objectif de production de bois-énergie.

Bovin allaitant dans la Creuse*

1. Diagnostic de l'exploitation et de son environnement proche

■ Caractéristiques de l'exploitation

Indicateurs	Valeurs	Remarques
UTH	1,5	Familiale
Troupeau	103 UGB technique Race Limousine Chargement 1,1 à 1,3	Environ 80 vèlages : 38 broutards mâles (315 kg 8,5 mois), 22 broutards (300 kg, 10 mois), 15 vaches de boucherie, 1 taureau Chargement faible
SAU SFP	95 ha 91 ha (prairies)	4 ha de céréales autoconsommées prairies temporaires 45 ha prairies permanentes 46 ha 1 fauche (ensilage – foin – foin déprimé)
Productions	Broutards	Filière italienne (14 mois - Vitelli / Vitelloni)
Parc matériel	Propriété	Très peu de coopératives d'utilisation du matériel agricole
Bâtiments	Stabulation 100 % paillée Hangar de stockage	Mise en bâtiment à l'automne 1 900 m ³ (foin 1300 m ³ – paille 600 m ³)
Travail	Pointe en janvier-février Pointe au printemps	Pic des vèlages Constitution du stock fourrager avec la 1 ^{re} coupe de mi-avril (fin du déprimage) à mi-août
Atouts	Chargement faible Système simple techniquement	Possibilité de plein air hivernal (sols portants) Système économe et souple vis-à-vis de l'agrandissement
Contraintes	Sensible aux conditions climatiques du printemps Faible autonomie en concentrés (et en paille)	Tous les stocks fourragers sont constitués sur une courte période 40 % en concentrés – 25 % en paille
	1 seule filière de vente 1 seule ressource fourragère	Dépendance vis-à-vis des marchés du Sud de l'Europe Importance de la gestion de l'herbe

Source : Réseaux d'élevage (Chambres agriculture / IDELE), cas-type n°2. a « Le système naisseur limousin - Broutards mâles et femelles », 2010.

■ Ateliers de production et résultats économiques¹

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Produit total : 107 845 €/an		
Viande bovine	63 % du produit total	Dont 46 % broutards IGP
Cultures	2 % du produit total	
Aides animales	17 % du produit total	80 PMTVA (prime au maintien du troupeau de vaches allaitantes)
Autres aides	18 % du produit total	dont PHAE (prime herbagère agro-environnementale), ICB (50 %) et droits à paiement unique (50 %)

* Cette fiche, rédigée en avril 2012, est le résultat des contributions de Sylvain Doublet, Jean-Christophe Moreau.

1. Résultats économiques de 2009.

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Charges totales (opérationnelles + structure) : 58 190 €/an		
Troupeau (charges opérationnelles)	32 %	concentrés + frais d'élevage
Cultures (charges opérationnelles)	13 %	dont engrais 65 %
Charges de structure	55 %	Mécanisation (30 % des charges de structure), assurances et charges sociales (30 % des charges de structure)
EBE : 49 655 €/an		
Amortissements	36 % EBE	Bâtiments, matériels
Frais financiers	7 % EBE	
Revenu disponible	28 450 €/an	
Annuités	34 % EBE	Taux d'endettement 24 %
EBE/vèlage	620 €/vèlage	
Sensibilité du système	Performances techniques Maîtrise des charges Conjoncture	Production et niveau génétique Concentrés et mécanisation Prix de la viande et des intrants

Source : Réseaux d'élevage (Chambres agriculture / IDELE), cas-type n°2. a « Le système naisseur limousin - Broutards mâles et femelles », 2010.

■ Contexte local

Territoire et agriculture

La forêt couvre un tiers du territoire (le Limousin est l'une des premières régions françaises pour le taux de boisement). La région compte près de 15 000 exploitations, dont près de 10 000 professionnelles. La taille moyenne d'une exploitation est de 82 hectares². La SAU couvre environ 900 000 ha (soit 52 % de la surface régionale) dont 85 % consacrés à la production d'herbe. Trois productions dominent et représentent 6 à 8 % de la production nationale : bovins, ovins et pommes. Plus du tiers des exploitations produisent sous signe officiel de qualité³ : Indication Géographique Protégée pour les viandes, Appellation d'Origine Contrôlée pour la pomme.

La production bovine

La région compte 470 000 vaches allaitantes (environ 10 % du troupeau français). La race Limousine est majoritaire (80 %). Près de 70 % des exploitations professionnelles font de la viande bovine avec une moyenne de 62 vaches allaitantes. La production de viande bovine participe à hauteur de 56 % dans la production agricole finale régionale. Le système naisseur-broutards concerne près d'une exploitation sur trois en zone Limousine. Il s'est développé suite à l'agrandissement de la taille des exploitations et à la diminution de la main-d'œuvre. C'est ainsi qu'entre 1988 et 2000 l'exploitation moyenne a augmenté sa surface et son troupeau de 50 %.

Les principaux produits issus de ce système sont des broutards mâles et femelles principalement destinés aux marchés du Sud de l'Europe (Italie).

2. Source : Agreste Limousin, enquête structure 2007.

3. Source : Chambre régionale d'agriculture du Limousin.

On rencontre ce système sur la majeure partie de la zone Limousine et plus particulièrement sur le haut Limousin. Il existe également dans les zones élevées du plateau de Millevaches et dans les zones à étés plus secs, mais dans des structures plus importantes et à des niveaux de chargements plus faibles.

Éléments paysagers du territoire

Le département de la Haute-Vienne se rattache au Massif-Central dont il constitue la bordure Nord-Ouest. Sa principale rivière est la Vienne, qui le traverse d'Est en Ouest et le partage en deux parties à peu près égales. Le relief est varié, et constitue un ensemble de plateaux inclinés du Sud-Est au Nord-Ouest, plus ou moins nivelés par les ans, surmontés de massifs et excavés de vallées profondes. On distingue principalement des systèmes montagneux (Massif d'Eymoutiers, Monts de la Marche), culminants à 700 mètres, et des plateaux au Sud qui prolongent le Massif d'Eymoutiers avec une altitude de 400 mètres (s'abaissant jusqu'à 300 mètres à Limoges)⁴.

Sols

Le sous-sol est à dominante de roches cristallines (magmatiques ou métamorphiques). L'altération de ces roches a donné naissance à des sols acides avec des tendances hydromorphes. Les potentiels de ces sols sont faibles à moyens en fonction de leur profondeur.

Caractéristiques des sols dans la Haute-Vienne

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Texture	Grossière Sablo-argileux	< 25 % d'argile ; Sable > 65 % 5 < pH < 6
CEC	8-12 cmol/kg (valeur faible)	Taux de saturation moyen < 60 % - fertilité chimique faible
Carbone organique	14 à 18 g/kg (70 t/ha)	Soit environ 3 % de matière organique (stable sur la période 1990-2004)
Sensibilité à la battance	Faible	
Hydromorphie	Risque important pour les sols de faible profondeur	
Cailloux/pierres	Présence de cailloux (> 30 %) et de pierres	Contraintes pour la mécanisation
Réserve utile	Moyenne	150 mm

Sources : GIS SOL ; Chambre d'Agriculture du Limousin

Climat

Le climat limousin est globalement un climat tempéré océanique. Les températures sont surtout fonction de l'altitude. Les températures moyennes varient de 12°C sur les bassins de Brive et l'extrême Sud corrézien, pour atteindre des valeurs voisines de 9°C seulement ou moins sur les sommets de l'Est du Limousin. La température minimale moyenne annuelle varie de 2 à 6°C et celle maximale moyenne annuelle de 15 à 20°C. Le nombre de jours moyen avec gelée varie également en fonction de l'altitude, avec des écarts importants (entre 60 et 110 jours d'Ouest en Est de la région). Les gelées tardives de printemps constituent un risque majeur pour les cultures. De fait, la saison de végétation peut être estimée à six mois jusqu'à 700 mètres d'altitude, cinq mois entre 700 et 800 mètres d'altitude, et quatre mois au-dessus de 800 mètres, voire moins sur certaines parties du plateau de Millevaches.

Les précipitations sont importantes, avec des hauteurs de l'ordre de 1 100 millimètres (mm) pour le Limousin. Ce chiffre moyen cache des disparités importantes dans la région, liées à l'influence du relief : les précipitations moyennes annuelles croissent avec l'altitude, de 800 mm par an au Nord-Ouest de la région à 1 600 mm par an sur le rebord occidental du plateau de Millevaches. Ces précipitations sont globalement bien réparties dans l'année, même s'il peut y avoir une période de sécheresse relative à partir de la mi-juillet jusqu'à la fin août.

Données moyennes à Limoges⁵ :

- précipitations : 900 à 1 100 mm ;
- température moyenne : 11°C (4°C en janvier – 19°C en août) ;
- gel : 60 jours par an ;
- ensoleillement : 1 860 h/an ;
- neige : 18 jours par an.

La ressource en eau dans le département de la Haute-Vienne

Trois bassins principaux se partagent les cours d'eau extrêmement nombreux du département. Il s'agit des bassins de la Loire, de la Gironde et de la Charente. Le bassin de la Loire est de loin le plus important puisqu'il draine 90% des eaux du département, par la Vienne et la Gartempe.

Le régime des cours d'eau et des rivières est en relation étroite avec le relief et la nature du sol. Les pluies abondantes en Haute-Vienne ne pénètrent que faiblement les terres et les roches qui constituent l'ossature du Limousin. Elles ruissellent plus ou moins rapidement jusqu'aux cours d'eau qu'elles vont alimenter. Le caractère torrentiel des cours d'eau est moins accusé que ne le laisserait prévoir le relief. Le débit des rivières est très variable⁶.

2. Effets du changement climatique sur le système d'exploitation

■ Description du changement climatique et des impacts attendus

Les données suivantes sont issues de simulations climatiques mensuelles réalisées spécifiquement pour cet exercice à partir de données Météo-France. Elles concernent d'une part une période de référence centrée en 1985 allant de 1971 à 2000. D'autre part, elles concernent une seconde période future centrée en 2050 (l'horizon temporel de la présente étude prospective) allant de 2036 à 2065.

La comparaison entre les périodes 1971-2000 et 2036-2065 montre :

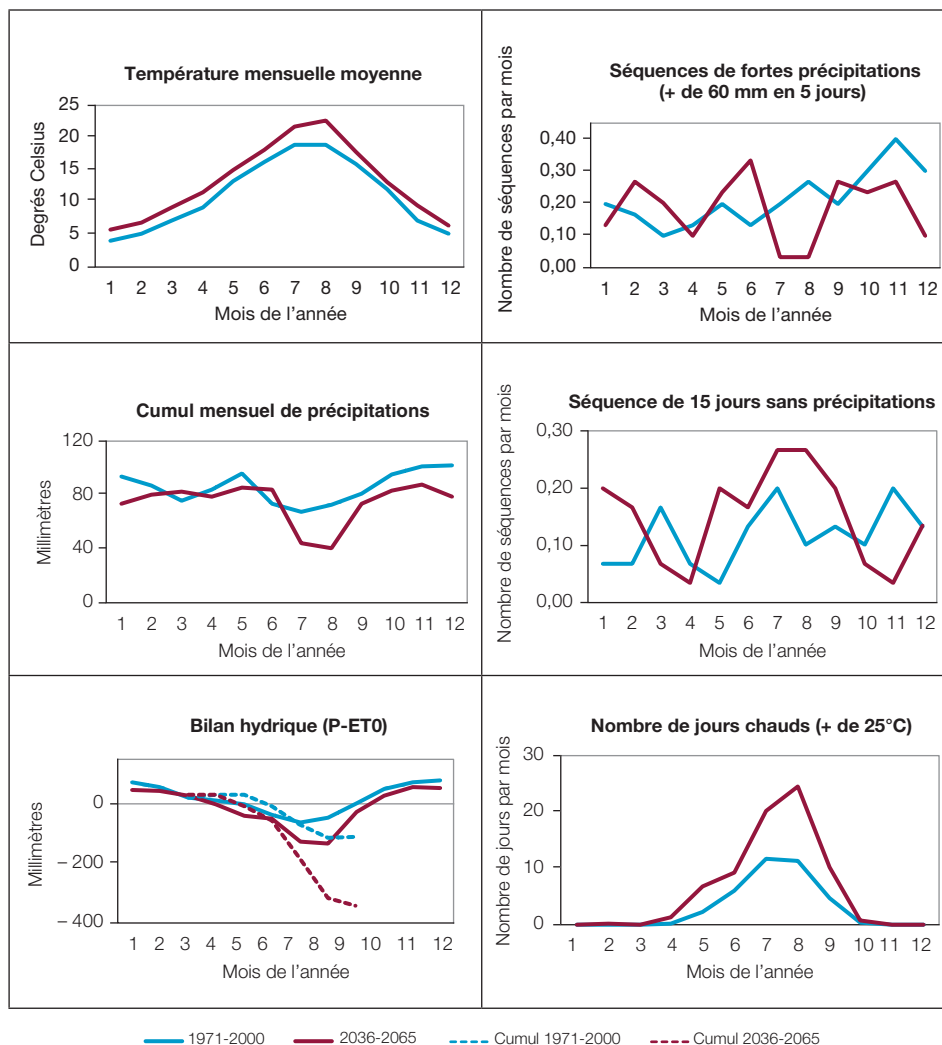
- une augmentation des températures homogène sur l'année ;
- un cumul de pluie identique sur le premier semestre, dégradé sur le second semestre ;
- un déficit hydrique (P-ET0) plus marqué de juillet à août ;
- un nombre de jours échaudants nettement supérieur de juillet à août ;
- une réduction du nombre de jours de gel (de 42 à 27 jours) avec une réduction marquée au printemps (de 7 à 2,5 jours).

4. Source : Chambre d'agriculture de la Haute-Vienne.

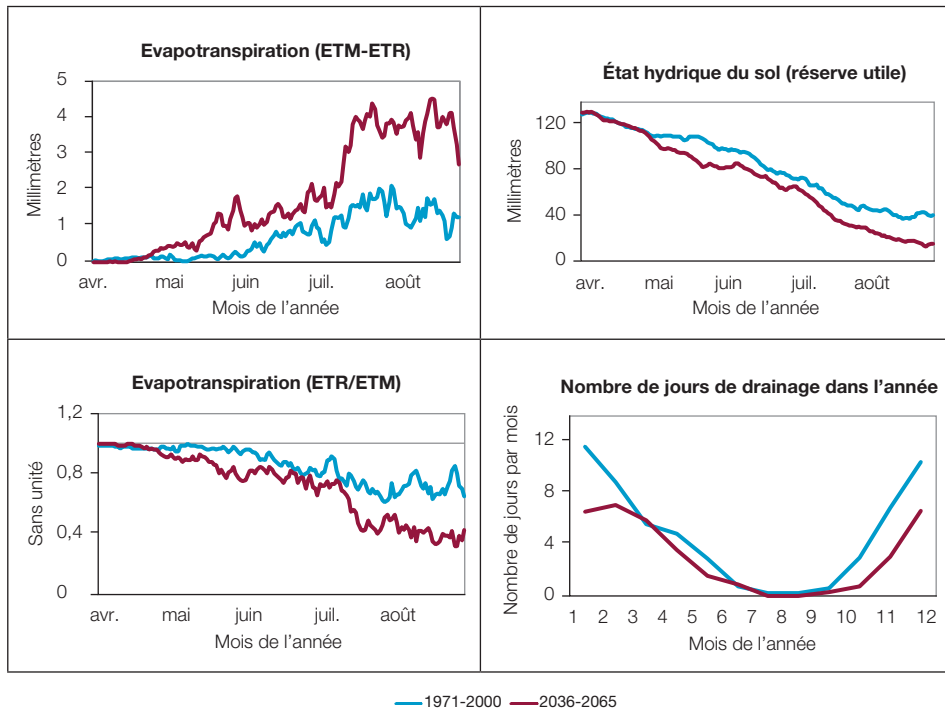
5. Sources : CRPF et Météo-France.

6. Source : Chambre d'agriculture de la Haute-Vienne.

Station – Limoges



Herbe – principaux indicateurs de l'état hydrique (RU : 150 mm)



En prenant comme modèle une prairie (herbe) et un sol dont la réserve utile est de 150 mm, la comparaison entre les périodes 1971-2000 et 2036-2065 montre une dégradation nette des conditions de confort hydrique entre juillet et août, ainsi qu'une diminution du nombre de jours de drainage d'octobre à février et une réserve hydrique des sols dégradée.

■ Effets attendus du changement climatique sur les cultures du système étudié

Cultures fourragères

Effets du CC sur ↓	Description
Durée des cycles culturaux	L'allongement de la période de pousse de l'herbe permet de gagner plus de 8 jours de pâturage au printemps et autant à l'automne, mais la période de ralentissement de la pousse estivale serait plus longue (de l'ordre d'une semaine) et très aléatoire (Acta-Mires, 2009).
Conditions de semis, récolte	<p>Pour la valorisation de l'herbe, pas de dégradation des conditions d'accès à la ressource pour des fauches précoces, pas de dégradation non plus en automne pour l'accès aux animaux (conditions de portance). De possibles problèmes de gestion de la pointe de travail de printemps pourraient apparaître, d'autant plus que dans les systèmes allaitants limousins, il y a rarement une deuxième coupe : tous les enjeux, de qualité comme de quantité, sont sur la première coupe, alors que les chantiers sont de plus en plus importants du fait de l'agrandissement.</p> <p>Les conditions de resemis des prairies temporaires seront meilleures à l'automne qu'au printemps.</p> <p>Les conditions pour la culture du maïs dans les zones de plus basse altitude ne seront pas dégradées (raccourcissement du cycle de production permettant une moindre exposition au déficit hydrique estival). La culture deviendra possible plus haut en altitude, sans toutefois permettre chaque année une éventuelle récolte en grain. Dans le bassin de Brive, le maïs a déjà une double fin possible (grain ou ensilage) (Acta-Mires, 2009).</p>

Effets du CC sur ↓	Description
Rendements	<p>Les rendements de l'herbe ne seraient qu'en légère hausse (quelques %), notamment sur les sols à faible réserve utile. La pousse de printemps serait quasiment inchangée en volume, avec une baisse de plus de 20 % (fort variable) l'été, et une augmentation de 15 % en automne.</p> <p>Les rendements seraient maintenus en moyenne pour le maïs ensilage, mais plus variables.</p> <p>La luzerne n'est pas une culture traditionnelle dans la région mais verrait ses rendements se maintenir dans le futur. Sa culture fait déjà sur place l'objet d'une relance et la régularité de ses rendements est appréciée (Acta-Mires, 2009).</p>
Qualité des récoltes	Possibilité de semer des variétés de maïs plus tardives avec un meilleur rapport grain/plante entière.
Disponibilité en eau	Les ressources sont abondantes dans la zone Est de la région. L'irrigation du maïs, peu pratiquée hors du bassin de Brive, pourrait s'avérer intéressante.
Bioagresseurs	Le campagnol terrestre fait de plus en plus de ravages en Limousin. Il est difficile de relier cela au changement climatique, mais c'est concomitant.

■ Synthèse : effets du changement climatique sur le système d'exploitation

Dans cette zone, le changement climatique n'entraîne pas d'augmentation forte du nombre de jours échaudants et les ressources en eau sont abondantes.

Concernant l'herbe, le nombre de jours de pâturage augmente de 8 jours ou plus au printemps et à l'automne, grâce à l'allongement de la période de pousse et au maintien des conditions d'accès aux pâtures pour des fauches précoces et pour les animaux en automne. Des problèmes peuvent apparaître au printemps pour gérer la pointe de travail pour la première coupe. Les conditions de resemis des prairies temporaires seraient meilleures à l'automne qu'au printemps. Les rendements augmenteraient légèrement.

L'une des principales contraintes que pose le climat de 2050 sur ce système d'exploitation est la nécessité de pallier

le déficit d'herbe estival par un apport de fourrages grossiers de complément (report du printemps vers l'été). Or, le taux de fauche au printemps est déjà très élevé (près de la moitié de la surface en herbe est fauchée en première coupe) et augmenter ce ratio conduirait à un déséquilibre dans le système (toutes les surfaces fauchées au printemps fourniraient trop d'herbe à faire pâturer en automne). Ce phénomène conduisant à un gaspillage de la ressource est déjà observé actuellement les années où l'automne est favorable ; il pourrait devenir habituel dans le contexte du changement climatique.

Pour le maïs, actuellement utilisé à double fin (grain ou ensilage), les conditions de culture seront maintenues dans les zones de plus basse altitude (raccourcissement du cycle de production permettant une moindre exposition au déficit hydrique estival) et améliorées dans les zones de haute altitude, sans toutefois permettre chaque année une récolte en grain. Les rendements seraient maintenus en moyenne pour le maïs ensilage, mais plus variables. L'irrigation, actuellement peu pratiquée en dehors du bassin de Brive, pourrait s'avérer intéressante. Les rendements en luzerne seraient maintenus.

3. Options d'adaptation à l'échelle de l'exploitation et de son territoire

Dans sa configuration actuelle, le système allaitant Limousin a une marge de manœuvre limitée face aux aléas climatiques. Les deux premières options tentent de résoudre la contrainte du déficit d'herbe estival de deux manières distinctes. Les deux options suivantes envisagent des changements plus profonds dans le profil de l'exploitation.

■ Option BA1 : Mettre en place deux périodes de vèlage pour résoudre le déficit d'herbe en été

Les vèlages, s'ils restent sur janvier, constituent un facteur de blocage pour exploiter l'herbe sur une période plus longue. Une option d'adaptation possible consiste à avoir deux périodes de vèlage : l'une en fin d'automne, l'autre en fin d'hiver. Ainsi, l'un des lots serait susceptible de valoriser l'herbe jusque très tard en saison, et l'autre pourrait être mis à l'herbe beaucoup plus tôt, voire en hiver.

Cette option permettrait plus de souplesse dans la gestion des aléas climatiques : une sécheresse estivale n'aurait pas l'impact élevé qu'elle a actuellement (les veaux étant à peine sevrés, il faut les compléter). Ce serait aussi une manière de mieux gérer la pointe de travail de la période de vèlages, dans l'hypothèse où les effectifs des troupeaux vont encore s'accroître.

■ Option BA2 : Introduire des cultures fourragères à stock pour faire face aux aléas climatiques

La mise en place de cultures fourragères à stock permettrait d'augmenter le stock fourrager sans augmenter le taux de fauche en premier cycle. Il peut s'agir de luzerne, de maïs, voire de mélanges céréales / protéagineux ensilés immatures.

Introduire ces cultures dans l'assolement permettrait non seulement de gérer le problème de ratio de fauche en premier cycle, mais aussi de diversifier la ressource fourragère et donc les périodes d'exposition au risque, ce qui constitue une réponse intéressante face aux aléas climatiques.

■ Option BA3 : Développer et réorienter l'élevage (engraissement ou production laitière) avec le maïs irrigué

Cette option repose sur une production de maïs sécurisée par l'irrigation pour l'alimentation du bétail. Cette ressource pourrait être utilisée pour relancer l'engraissement sur place des broutards, elle pourrait également permettre le développement d'une production laitière. Dans l'option d'une conversion en élevage laitier, le coût d'investissement dans les bâtiments peut être un frein important.

Les conditions de cette relance de l'engraissement sont multiples : difficultés en Italie (interdiction de la monoculture de maïs par la PAC, augmentation des charges de production, pression environnementale dans la plaine du Pô, etc.) et/ou opportunités dans le Limousin (peu de pression liée à l'urbanisation, rendements en maïs sécurisés par l'irrigation, contractualisation avec des grandes surfaces, demande en produits locaux, etc.).

■ Option BA4 : Extensifier l'élevage et développer une production sous signe de qualité

Cette option repose sur une réduction du chargement, et donc des besoins en fourrages, rendue possible par le développement d'une production de veaux élevés à l'herbe. La production de veaux est valorisée directement, il n'y a plus d'exportation de broutards vers la filière italienne. La production sous signe de qualité permet de valoriser ce mode de production extensif.

Pin maritime dans les Landes*

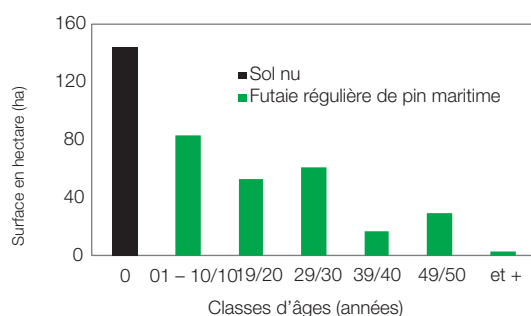
Le cas étudié est une forêt de production composée de futaie régulière de pin maritime. Elle est située au sud de Bordeaux dans la sylvoécocorégion des « Landes de Gascogne ».

1. Diagnostic de l'unité de gestion forestière et de son environnement proche

■ Caractéristiques de l'unité de gestion forestière

Le cas étudié couvre une surface de 390 ha sur laquelle est présent un seul type de peuplement (futaie régulière de pin maritime) à différents stades de développement. Les différentes classes d'âge (figure 1) peuvent être regroupées en trois catégories en fonction des reboisements faisant suite aux tempêtes de 1999 et de 2009.

Figure 1 : Répartition des surfaces par classes d'âge du cas d'étude



Source : Société forestière de la Caisse des Dépôts et Consignations.

Peuplements en cours de reconstitution (après la tempête de 2009)

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Surface	144 ha	37% de la surface. Sols nus en cours de reconstitution
Origine des peuplements	Plantation	Plantation à venir
Age des peuplements	0	
Historique de gestion	Anciens peuplements sinistrés par la tempête Klaus et exploités en 2010	
Itinéraire sylvicole envisagé jusqu'à l'exploitation	Vocation bois d'œuvre. Révolution de 35 ans avec deux éclaircies	

Peuplements jeunes (reconstitués à la suite de la tempête de 1999)

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Surface	98 ha	25% de la surface
Origine des peuplements	Plantation	
Age des peuplements	De 3 à 11 ans	
Historique de gestion	Plantation	
Itinéraire sylvicole envisagé jusqu'à l'exploitation	Vocation bois d'œuvre Révolution de 35 ans avec deux éclaircies Première éclaircie entre 12 et 14 ans	

Peuplements adultes plus ou moins touchés par les tempêtes

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Surface	148 ha	38% de la surface
Origine des peuplements	Semis	
Age des peuplements	De 11 à 60 ans	
Historique de gestion	Plantations et semis en bandes	
Itinéraire sylvicole envisagé jusqu'à l'exploitation	Récoltes progressives en bois d'œuvre Révolution moyenne comprise entre 35 et 45 ans avec 2 à 3 éclaircies	

Atouts	Révolution courte par rapport à la majorité des autres essences forestières en France Une gestion dynamique et réactive possible	
Contraintes	Peu de marges de manœuvre dans l'adaptation des peuplements en place Les choix sylvicoles effectués pour les reconstitutions post-tempêtes conditionnent les stratégies d'adaptation jusqu'en 2050	

Source : Société Forestière de la Caisse des Dépôts et Consignations.

Les deux tempêtes ont fortement modifié la distribution des classes d'âge dans ce massif. En majorité, les peuplements sont, soit très jeunes, soit en cours de reconstitution. Les choix effectués lors des reconstitutions post-tempête conditionneront les stratégies d'adaptation à mettre en œuvre au cours des 35 prochaines années pour une grande partie de ce massif (62% de la surface). À l'inverse, 38% des peuplements seront renouvelés d'ici 2050. Le couplage fort avec la filière en aval peut être, soit un frein, soit un moteur dans les stratégies à mettre en place.

* Cette fiche, a été rédigée en avril 2012, par Anne-Sophie Sergent, avec les contributions des experts forestiers du groupe AFClim et d'experts extérieurs : Denis Loustau (INRA Bordeaux), Dominique Merzeau (IDF), Pierre Alazard (FCBA).

■ Productions et résultats économiques

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Productivité	10 à 14 m ³ /ha/an	Ces indicateurs correspondent à une durée de rotation comprise entre 35 et 45 ans, en fonction de la fertilité de la station avec deux ou trois éclaircies L'objectif final, en matière de volume sur pied est de 0,9 à 1,2 m ³ /arbre Le taux d'actualisation est fixé à 3 %
Prix moyen récolte finale	30 à 35 €/m ³	
Bénéfice actualisé en séquence infinie	1976 à 3345 €/ha	
Taux interne de rentabilité	4,27 à 6,88 %	
Atouts	Pas de risque de manque de débouchés Système industriel qui a fait ses preuves La sylviculture du pin maritime est bien maîtrisée	
Faiblesses	Rentabilité qui repose sur la capacité de production d'une seule essence Elle dépend donc du maintien de sa productivité, de son bon état sanitaire et de l'absence d'aléas majeurs	

Source : CRPF Aquitaine et Société forestière de la Caisse des Dépôts et Consignations (données 2012).

■ Contexte local

Contexte forestier

Le pin maritime, essence principale du massif landais

Cette région forestière est boisée à 74,3 %, ce taux est très largement supérieur à la moyenne nationale (29,4%)¹. 96 % des forêts appartiennent à des propriétaires privés. La principale vocation de ces forêts cultivées est la production. Sur les 868 000 ha de cette région forestière, 863 000 ha sont des forêts de production, dont 78 % (676 000 ha) sont des futaies de pin maritime². La récolte de bois ronds et la production de sciage en pin maritime dans les Landes de Gascogne représentent respectivement 90 % et 76 % de la production nationale pour cette essence³. La filière bois en Aquitaine est caractérisée par la présence d'industries de première et de deuxième transformation sur le territoire landais, qui représentent près de 32 000 emplois⁴.

Une ressource ayant subi des dégâts de tempêtes importants au cours des dernières années

En moins de dix ans, le massif landais a été touché par deux tempêtes « centennales », la tempête Martin de décembre 1999 et la tempête Klaus de janvier 2009. Les dégâts de ces deux tempêtes ont été importants. En 1999, les dégâts se sont élevés à 23,7 millions de m³. En 2009, les dégâts ont été supérieurs avec 36,7 millions de m³ affectés sur 593 000 hectares. Ces deux tempêtes ont entraîné une diminution de 46 % du volume sur pied en près de dix ans⁵. Sur le plan structurel, les pins maritimes de 20 à 40 ans, qui représentent le potentiel du massif à moyen terme, ont été les plus sinistrés. Les dégâts de la tempête Klaus correspondent à environ six ans de récolte régionale⁶.

Un risque d'émergence de nouveaux problèmes biotiques : l'exemple du nématode

Le nématode du pin est une espèce exotique invasive qui a causé des mortalités importantes dans les zones où il a été introduit (Asie, Portugal et Espagne). Absent actuellement en France mais présent en Espagne, le risque d'infestation en Aquitaine à l'horizon 2030 est proche de 100 %. Bien que l'expression des dégâts soit liée à des contraintes climatiques (température en juillet $\geq 20^\circ\text{C}$), le réchauffement climatique aura cependant des effets négligeables sur le risque d'infestation en comparaison des risques de dispersion provoquée par les hommes et par les capacités d'envol du vecteur (coléoptères longicornes) (Lieutier *et al.*, 2009 ; Piou et Jactel, 2010).

Éléments paysagers et ressource en eau

Cette étude de cas se situe dans le Parc naturel régional des Landes de Gascogne. Ce parc a été créé autour du bassin versant de la Leyre. Il regroupe des lagunes et des cours d'eau d'une grande qualité écologique. Le pin maritime joue un rôle régulateur et protecteur à l'échelle de ce bassin versant. Les forêts diminuent le ruissellement de surface, régulent les phénomènes de crues et permettent d'obtenir une qualité d'eau plus satisfaisante que par les occupations agricoles ou urbaines. Les coupes rases ont un impact sur la ressource en eau (augmentation de l'infiltration, augmentation de l'exportation en éléments minéraux). En conditions normales, les impacts des coupes rases à l'échelle du massif restent faibles. Cependant, ils peuvent être notables localement lorsque les surfaces concernées sont importantes (à la suite des tempêtes, par exemple) (Vernier et Castro, 2010).

■ Caractéristiques stationnelles, pédologiques et climatiques du cas d'étude

Caractéristiques stationnelles

Les peuplements sont situés sur des parcelles présentant peu de pente et drainées en cas de besoin. Trois types de stations représentatives des Landes de Gascogne sont rencontrés :

- les landes sèches à callune et bruyère. Ce sont les terrains les plus pauvres ;
- les landes mésophiles à fougère. Ce sont généralement les meilleurs terrains pour le pin maritime ;
- les landes humides à molinie et bourdaine qui peuvent devenir très productives lorsqu'elles sont suffisamment drainées.

Sols

Les sols landais sont de type podzosols. Ils sont sableux avec une proportion importante de sables grossiers. Ils sont acides (pH moyen = 4,3 en surface et 5,1 en profondeur) et peu saturés en cations. La fertilité minérale est très faible, ces sols sont composés quasi exclusivement de quartz qui ne contient aucun nutriment et ne présente aucune réactivité de surface. La fertilité est donc principalement liée à la fraction organique du sol. La principale contrainte à l'enracinement est la présence de l'alias, grès tendre, où les grains de sables sont cimentés par les acides humiques et des oxydes de fer et d'aluminium. L'alias joue un rôle essentiel dans le fonctionnement hydrique du sol. Sa profondeur d'apparition est liée à la présence d'une nappe phréatique superficielle. Cette nappe phréatique conditionne fortement l'alimentation en eau des peuplements lorsqu'elle est située entre 40 et 120 cm de profondeur (IFN et Vernier et Castro, 2010).

1. Sources : IFN et INRA.

2. Sources : IFN et INRA.

3. Source : enquête annuelle de branche du ministère en charge de l'agriculture de 2005.

4. Source : DRAAF Aquitaine.

5. Sources : IFN et INRA.

6. Source : FIBA, syndicat interprofessionnel des exploitants forestiers et industriels du bois d'Aquitaine.

Caractéristiques des sols des Landes

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Texture	Sableuse	Forte proportion de sable grossier
Fertilité minérale	Faible	Principalement liée à la fraction organique du sol
Contrainte à l'enracinement	Alios	Épaisseur irrégulière, compacité variable
Profondeur	Variables à l'échelle du peuplement	50 cm en moyenne et entre 30 et 100 cm
Réserve utile	60 à 110 mm	~ 100 mm / m de sol

Source : IFN et Vernier et Castro (2010).

Climat moyen période 1971-2000 – Station de Pissos - Landes (40)

Le climat des Landes de Gascogne est de type océanique, marqué par des hivers doux et des températures estivales plutôt chaudes. La pluviométrie est assez élevée et bien répartie dans l'année grâce à des précipitations orageuses fréquentes en été⁷.

Climat moyen période 1971-2000 – Station de Pissos dans les Landes

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Pluviométrie annuelle	1065 mm	Pluviométrie relativement élevée, ISbien répartie dans l'année
Pluviométrie estivale (juin juillet août)	208 mm	Déficit pluviométrique estival peu marqué
Température moyenne annuelle	12,8°C	Température moyenne assez élevée
Nombre de jours de gel	57 jours	Principalement de novembre à avril, IScertaines années des gelées sont ISobservées en mai et en septembre
Bilan hydrique climatique P-ETO	+ 321 mm	Bilan hydrique climatique positif

Source : Météo-France.

2. Effets du changement climatique sur la forêt

■ Description du changement climatique

Évolution du climat moyen et des événements climatiques extrêmes (canicule, gels intenses)

Les données suivantes sont issues de simulations climatiques mensuelles réalisées spécifiquement par Météo-France pour cet exercice. Elles concernent trois périodes : une période

7. Source : IFN.

de référence centrée sur 1985 allant de 1971 à 2000 (passé récent), une deuxième période future centrée sur 2035 allant de 2021 à 2050 (futur proche) et une troisième période future centrée sur 2085 allant de 2071 à 2100 (futur lointain). Elles présentent l'évolution future du climat moyen et des événements climatiques extrêmes tels que les canicules et gels intenses.

Évolution du climat moyen pour la station de Pissos dans les Landes

Indicateurs	Valeurs (en évolution)		Remarques
	De PR à FP	De PR à FL	
Température moyenne annuelle	+ 1,7°C	+ 3,7°C	Augmentation des températures importante dans le FL
Pluviométrie annuelle	- 80 mm	- 314 mm	Réduction de 7 % dans le FPISlet de 30 % dans le FL
Nombre de jours de gel	- 14 jours	- 27 jours	Diminution importante du nombre de jours de gel (- 25 % FP et - 47 % FL)
Déficit hydrique climatique (P-ETP)	- 180 mm	- 600 mm	Bilan hydrique climatique fortement réduit dès 2035 et largement négatif à l'horizon 2060

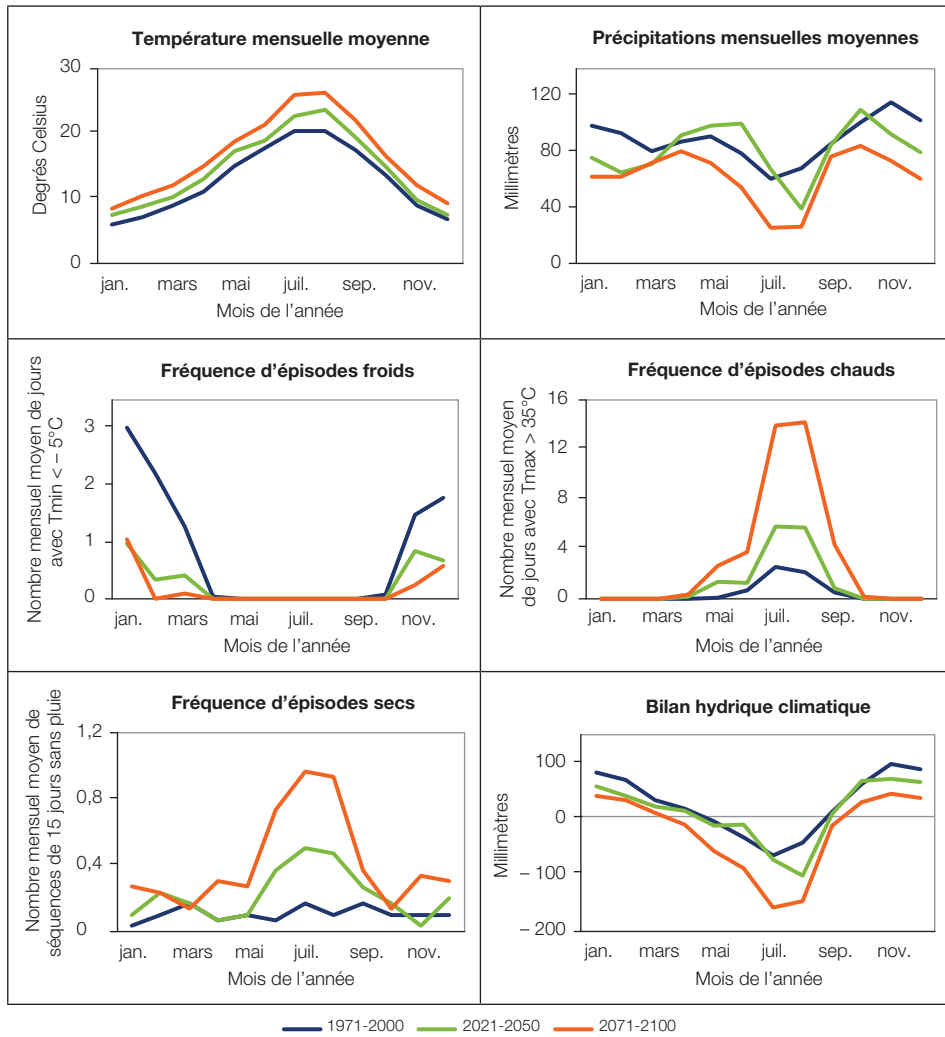
Source : Météo-France.

La comparaison entre les périodes 1971-2000, 2021-2050 et 2071-2100 montre :

- une augmentation des températures moyennes dès le futur proche et qui s'accroît à l'horizon 2085. La différence de température moyenne par rapport à la période de référence (1971-2000) est homogène au cours de l'année ;
- une diminution de nombre de jours de gel et de la fréquence des gels intenses ;
- une augmentation importante du nombre de jours où les températures maximales dépassent les 35°C et un étalement de la période d'occurrence de ce phénomène ;
- une réduction importante des précipitations, avec des écarts à la période de référence, plus marqués au cours des périodes estivales et hivernales ;
- pour le futur proche, une dégradation du bilan hydrique principalement de novembre à février et en août. Pour le futur lointain, une dégradation généralisée sur l'ensemble de l'année, particulièrement marquée de mai à août.

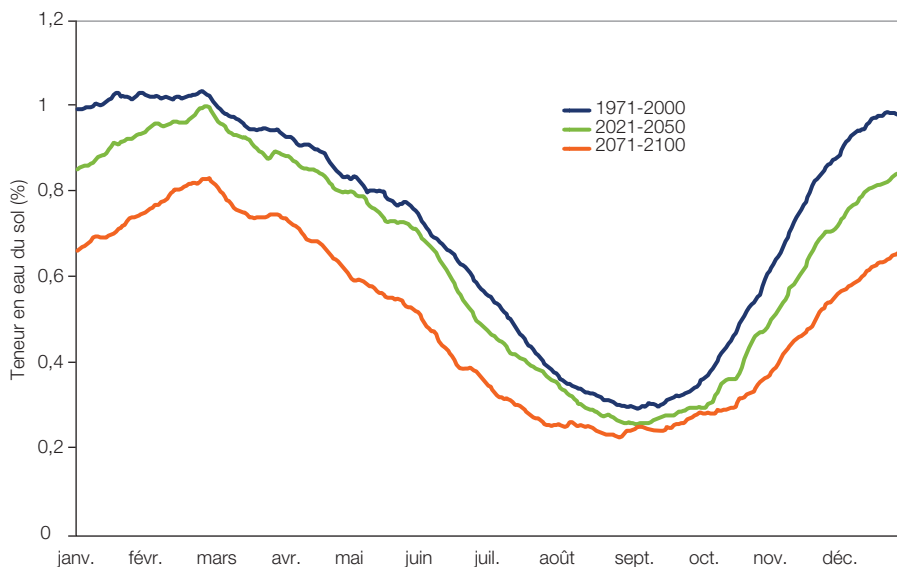
Finalement, l'augmentation des températures va diminuer la contrainte climatique en hiver (réduction du risque de gel). Associée à une nette réduction des précipitations, elle va en revanche augmenter fortement la contrainte hydrique estivale. Cette tendance qui se met en place dès le futur proche sera plus marquée au futur lointain. La contrainte hydrique sera, par ailleurs, étalée sur une plus longue période, mais restant toujours plus marquée les mois d'été.

Figure 2 : Évolution mensuelle des principaux indicateurs météorologiques pour les périodes passé récent (1971-2000), futur proche (2021-2050) et futur lointain (2080-2100)



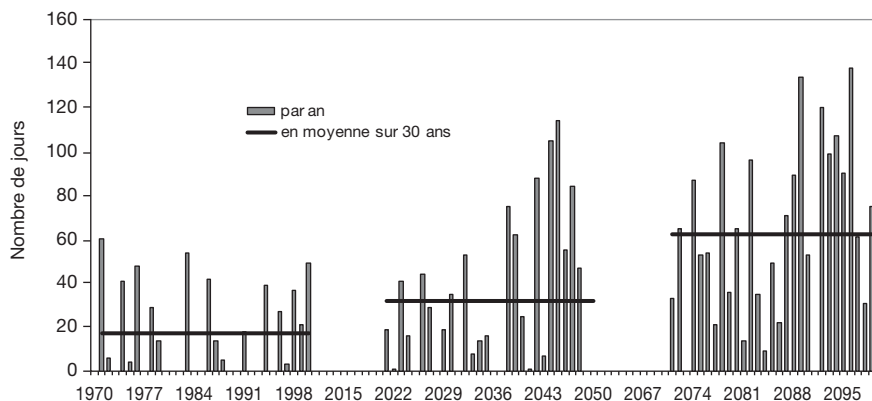
Évolution de la teneur en eau du sol et de l'intensité des sécheresses édaphiques

Figure 3 : Évolution annuelle de la teneur en eau du sol en moyenne sur une période de 30 ans



Source : Météo-France, maille SAFRAN, à proximité du cas étudié. Projet CLIMSEC – Modèle ISBA.

Figure 4 : Évolution annuelle du nombre de jours de sécheresse intense pour les trois périodes étudiées



Source : Météo-France, maille SAFRAN, à proximité du cas étudié. Projet CLIMSEC – Modèle ISBA.

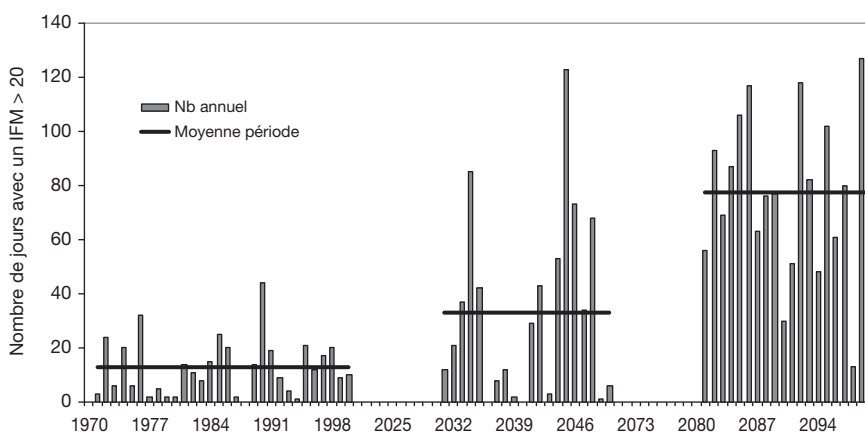
La comparaison entre les périodes 1971-2000, 2021-2050 et 2071-2100 montre :

- une augmentation de la durée moyenne de sécheresse (SWI < 0,5) : environ 3 mois pour la période 1971-2000, puis 4 mois pour 2021-2050 et enfin 5 mois pour 2071-2100 ;

- la période de sécheresse estivale à l'horizon 2085 débutera en moyenne un mois plus tôt dans la saison ;
- la recharge complète en eau du sol au cours de l'hiver n'aura plus lieu à l'horizon 2085.

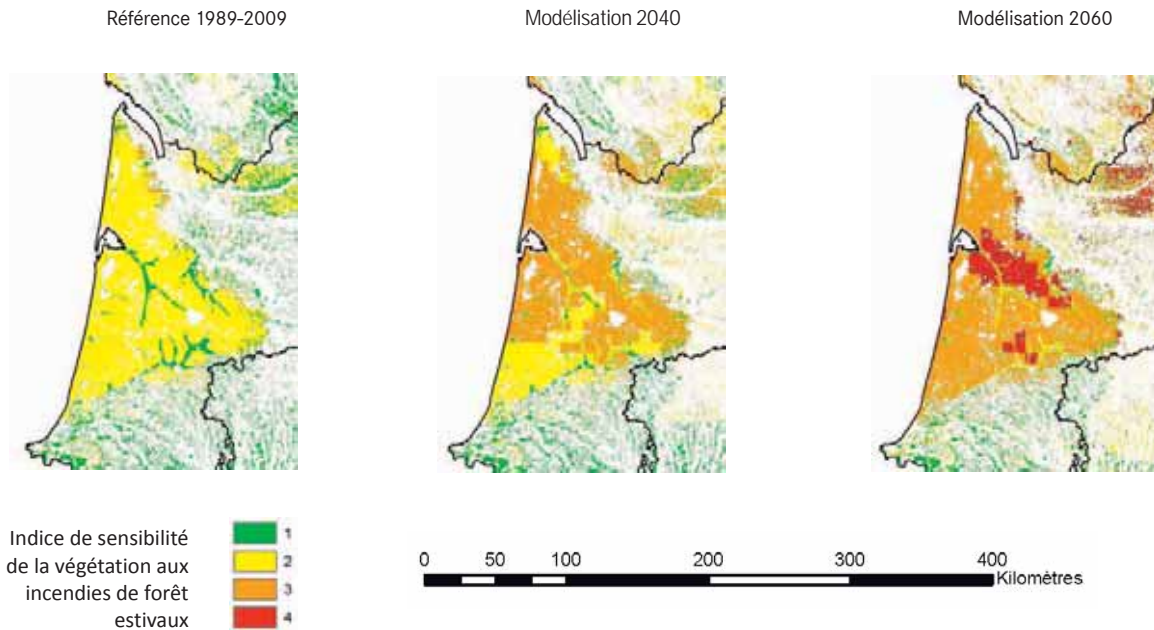
Évolution du risque incendie

Figure 5 : Évolution annuelle de nombre de jours où l'Indice Forêt Météo (IFM) dépasse la valeur seuil de 20, pour les trois périodes étudiées (1971-2000, 2031-2050 et 2081-2100)



Source : Météo-France, maille SAFRAN, à proximité du cas étudié.

Figure 6 : Évolution du risque incendie en fonction de la sensibilité des forêts aux feux estivaux et du danger météorologique dans le massif des Landes



Source : Chatry *et al.* (2010).

La comparaison entre les périodes 1989-2008, 2031-2050 et 2051-2070 montre :

- une augmentation de la fréquence du danger météorologique, se traduisant par une augmentation du risque d'incendie dans l'ensemble du massif dès 2040. Elle s'accroît à l'horizon 2060 et 2090 ;
- le nombre de jours où l'IFM dépasse 20 est multiplié par 2,5 dans le futur proche et par 6 dans le futur lointain ;
- le nombre de jours où l'IFM dépasse 40 est multiplié par 14 dans le futur proche et par 40 dans le futur lointain, avec une fréquence moyenne de 12 jours par an.

■ Effets attendus sur le système étudié

Modification de la phénologie et du risque de gels tardifs

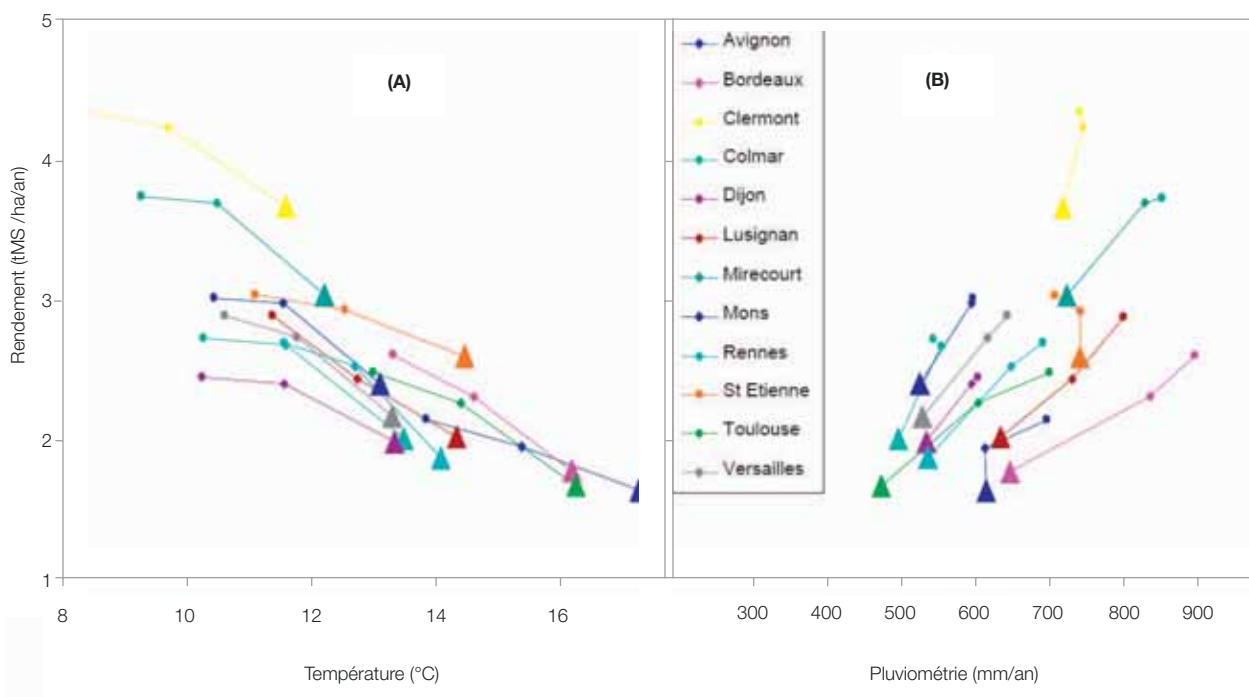
Dans les Landes, le pin maritime est peu concerné par les problèmes de gel, qu'ils soient précoces, tardifs ou hivernaux. Seule la longue période de gels intenses de l'hiver 1985-1986 a entraîné des dégâts importants sur des peuplements d'origine plus méridionale (Espagne et Portugal), les peuplements d'origine locale ont, quant à eux, été peu affectés.

Les simulations réalisées pour l'étude de cas (station météorologique de Pissos, modèle phénologique, d'après Desprez-Loustau et Dupuis, 1994) ont montré pour la période récente (1971-2000) une très faible occurrence de jours de gel après le débourrement, seule une année sur dix présente un ou des jours où la température minimale est inférieure à -2°C et aucune occurrence de jours avec une température minimale inférieure à -4°C . Avec l'augmentation des températures, le débourrement sera avancé de 13 jours à l'horizon 2035 et de 23 jours à l'horizon 2085. La probabilité de gels tardifs deviendra quasiment nulle dès 2035 (0 à 0,03 pour le seuil -2°C , 0 pour le seuil -4°C).

Évolution du rendement et du confort hydrique

Les résultats présentés ci-dessous sont issus des projets de recherche CLIMATOR et CARBOFOR. Ils ont été obtenus à partir du modèle GRAECO (Loustau *et al.*, 2010; Bréda *et al.*, 2010).

Figure 7 : Évolution sur les 12 stations du projet CLIMATOR du rendement du pin maritime géré en futaie à rotation moyenne



Source : Brisson et Levraut (2010).

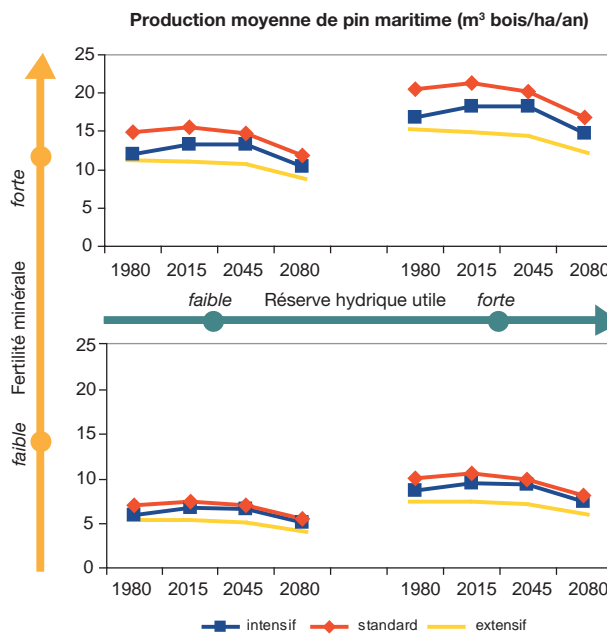
Les évolutions sont présentées en fonction de la température moyenne annuelle (A) et de la pluviométrie annuelle moyenne (B). Pour chaque station, les trois points reliés représentent les trois périodes (1971-2000, 2021-2050 et 2071-2100) où le futur lointain (2071-2100) est représenté par le triangle (scénario A1B, méthode de régionalisation quantile/quantile du CNRM, sol fersialitique à réserve utile de 100 mm).

Ces résultats montrent une diminution du rendement dès 2035 d'environ 10%. Cette diminution pourrait atteindre 40% en 2085. Cependant, ces résultats diffèrent en fonction des modèles de régionalisation utilisés. Le modèle de régionalisation par type de temps conduit à une estimation plus faible de la perte de rendement en 2085, avec une diminution de l'ordre de 7%.

D'autres modélisations du rendement ont été effectuées dans le cadre du projet Carbofor avec des scénarios climatiques plus anciens. Les tendances modélisées sont comparables, avec une diminution modérée jusqu'en 2040 et plus importante à l'horizon 2080. Le projet Carbofor a également montré que les impacts du changement climatique sur le rendement :

- (1) varie fortement à l'échelle subrégionale, avec un changement plus favorable en bordure littorale qu'à l'intérieur des terres ;
- (2) résultent de l'interaction entre climat et conditions stationnelles : les stations « riches », fertiles et à réserve hydrique forte donnent des peuplements productifs qui sont plus réactifs au changement (figure 8) ;
- (3) sont plus marqués en phase de régénération et juvénile, avant la fermeture du couvert, et par conséquent dans les itinéraires sylvicoles les plus intensifs (figure 8).

Figure 8 : Évolution simulée de la production moyenne en bois fort de pin maritime

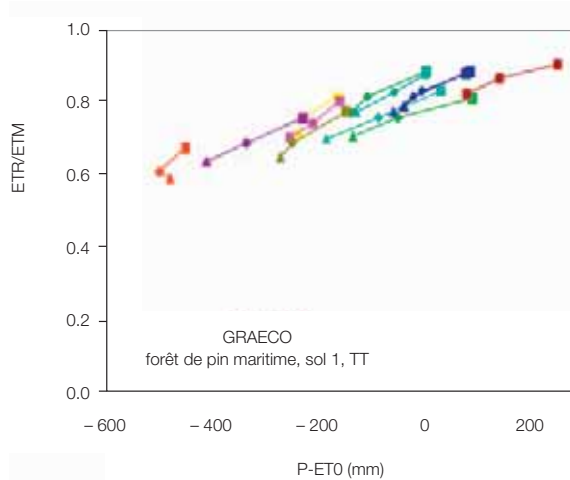


Source : Projet CARBOFOR (GICC-MESR, Gip-Ecofor-MAAP) 2002-2004.

Les simulations ont été réalisées suivant le scénario B2, pour trois itinéraires sylvicoles (intensif, standard et extensif) situés dans des conditions stationnelles différentes (deux niveaux de fertilité minérale et deux niveaux de réserve hydrique utile) (Loustau *et al.*, 2005 ; Loustau, 2010).

Évolution du confort hydrique

Figure 9 : Évolution dans le temps et sur les 12 sites Climator du confort hydrique en fonction du déficit hydrique climatique



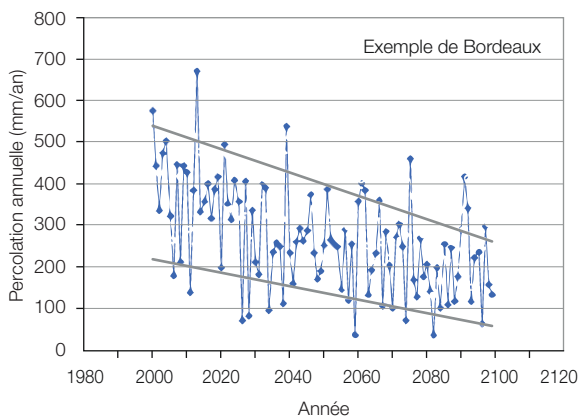
Source : Brisson et Levraut (2010).

Les carrés correspondent au passé récent, les losanges correspondent au futur proche et les triangles correspondent au futur lointain (Brisson et Levraut, 2010).

Les résultats montrent une diminution du confort hydrique avec l'augmentation du déficit hydrique climatique au cours du siècle à venir.

Évolution de la quantité d'eau restituée au milieu

Figure 10 : Évolution de la quantité d'eau annuelle restituée au milieu sur le site de Bordeaux, pour la période 2000-2100



Source : Brisson et Levraut (2010).

Les résultats montrent une diminution de la quantité d'eau restituée au milieu par drainage. La diminution de la transpiration des peuplements en réponse au déficit hydrique édaphique ne permet pas de compenser la diminution des précipitations. Cette diminution de la restitution aura un impact sur la disponibilité de l'eau pour les peuplements, pour les autres usages tels que l'agriculture et sur l'ensemble du bassin versant.

■ Effets attendus du changement climatique sur le pin maritime dans le système étudié

Modifications dues au CC sur ↓	Description des modifications attendues et de leurs effets potentiels sur la productivité, la mortalité et la régénération
Confort hydrique / fréquence et intensité des sécheresses	Les simulations climatiques indiquent que le confort hydrique va diminuer, entraînant une baisse probable du rendement dès 2035. Les peuplements situés aujourd'hui dans des conditions stationnelles favorables (fertiles et à réserve hydrique forte) seront affectés par ces changements climatiques et la réduction de rendement devrait être plus importante. Les effets du climat sont plus marqués en phase de régénération et en phase juvénile. Le raccourcissement des rotations et les itinéraires sylvicoles les plus intensifs produisent des peuplements vulnérables à forte croissance aérienne. Ils pourraient être plus affectés par les effets des sécheresses (Loustau <i>et al.</i> , 2010 ; Bréda <i>et al.</i> , 2010).
	Le pin maritime est une espèce relativement résistante à la sécheresse. On peut donc supposer que le risque de dépérissement et de mortalité sera faible même si les conditions évoluent de manière progressive. Cependant, des épisodes de dépérissement localisés ont déjà été observés dans le passé, suite à l'abaissement brutal de la nappe phréatique dû à des prélèvements pour l'irrigation agricole et d'autres usages. Le développement de la prospection racinaire étant fortement lié à la profondeur de la nappe, toute modification brutale de cette dernière pourrait avoir des conséquences importantes sur l'alimentation en eau des peuplements.

Modifications dues au CC sur ↓	Description des modifications attendues et de leurs effets potentiels sur la productivité, la mortalité et la régénération
Interactions avec les ravageurs et les pathogènes	Le pin maritime est principalement affecté par des insectes sous-corticaux (scolytes, pyrale), des insectes défoliateurs (chenille processionnaire) et des pathogènes racinaires (armilaire et fomes) (Piou et Jactel, 2010 ; Plan d'urgence sanitaire du massif landais, 2009 ; Piou <i>et al.</i> , 2006).
	Scolytes : les scolytes sont des parasites de faiblesse. La température est un élément clé de leur développement. Une augmentation de la température pourrait entraîner une augmentation du nombre de générations et des capacités d'envol. Une diminution du confort hydrique risque d'affaiblir le pin maritime et par conséquent, d'augmenter sa vulnérabilité aux attaques de scolytes. Actuellement, les dégâts importants sont principalement observés lors de la conjonction de tempêtes et de sécheresses. Des températures chaudes extrêmes comme celles observées en 2003 peuvent affecter négativement la biologie de cet insecte.
	Chenilles processionnaires : dans le contexte actuel, lors des années de pullulation, les chenilles processionnaires affaiblissent les peuplements, entraînant une diminution du rendement. En 2009, 4 % du massif ont été affectés par ces chenilles *. Avec le changement climatique, les températures vont augmenter, le seuil léthal de -16°C sera atteint moins fréquemment et le cycle de développement pourrait être réduit permettant une nymphose à l'automne. Ces modifications pourraient favoriser le développement des populations sans pour autant augmenter la fréquence des pullulations. Des températures élevées comme celles observées en 2003 pourraient, en revanche, être néfastes à son développement.
	Hylobe : le pin maritime est particulièrement sensible à l'hylobe pendant la première année de plantation. Les dégâts observés (hors tempête) sont brutaux (une plantation peut être détruite en quelques jours) mais leur expansion est généralement limitée (1 % environ des plantations). Actuellement, les dégâts sur les jeunes plants ou les semis ont lieu dès que la température avoisine les 20°C dans la journée avec deux vagues principales en mars-avril et août-septembre. Avec le changement climatique, les attaques pourraient être décalées dans la saison et le cycle de développement pourrait être raccourci.
	Armilaire et fomes : le changement climatique aura probablement des effets antagonistes sur les pathogènes racinaires. L'augmentation du déficit hydrique édaphique pourrait être défavorable au développement de ces pathogènes mais aussi affaiblir les arbres et les rendre plus sensibles. Il est donc difficile d'évaluer l'évolution de leurs impacts. Cependant il est important de rappeler que les capacités et la vitesse d'adaptation de ces pathogènes sont supérieures à celles des arbres.

Modifications dues au CC sur ↓	Description des modifications attendues et de leurs effets potentiels sur la productivité, la mortalité et la régénération
Fréquence des incendies	Les projections climatiques prévoient une augmentation importante du risque incendie. Le système DFCI actuellement en place ne serait pas suffisant pour répondre à cette augmentation du risque (Chatry <i>et al.</i> , 2010).
Durée de la saison de végétation et risque de gel tardif	Les simulations réalisées par Météo-France pour le site étudié permettent de supposer que l'avancée de la date de débourrement n'entraînera pas une augmentation du risque de gel tardif.
Augmentation de la disponibilité du CO ₂	L'augmentation de la disponibilité en CO ₂ , déjà effective, devrait augmenter la productivité de façon provisoire. En effet, après 2035, les effets favorables de cette augmentation ne suffiront plus à compenser les impacts liés à la diminution des précipitations et à l'augmentation des températures (Loustau <i>et al.</i> , 2010 ; Bréda <i>et al.</i> , 2010).

* Source : Direction des services fiscaux.

Synthèse : effet du changement climatique sur le système étudié

Le changement climatique risque d'entraîner à terme une baisse de la productivité. Elle sera limitée à l'horizon 2035 et sera bien plus importante à l'horizon 2085. Le risque de mortalité ou de dépérissement restera faible en dehors de crises sanitaires majeures dont l'intensité pourrait augmenter si elles sont associées à des aléas abiotiques (tempêtes, sécheresse, etc.). L'augmentation des températures diminue le risque de gel et offre une opportunité pour l'introduction de nouvelles essences qui, jusqu'à présent, étaient trop gélives.

3. Options d'adaptation à l'échelle de la propriété et de son territoire

Option PM1 : Maintien du pin maritime dans une démarche de prévention des risques

Le propriétaire reste relativement confiant malgré les baisses de rendement annoncées. Il choisit de maintenir l'objectif actuel de production de bois d'œuvre de pin maritime.

Il diversifie légèrement ses itinéraires sylvicoles et fait en sorte qu'ils restent réversibles une grande partie de la durée de vie du peuplement, pour limiter les risques climatiques et biotiques (exemple : récoltes anticipées en cas de crise sanitaire, récoltes différées en cas de tempêtes pour les peuplements non affectés). La durée de renouvellement moyenne est maintenue entre 35 et 50 ans (voire plus, pour compenser la plus faible productivité) pour produire du bois d'œuvre (type "Bois d'œuvre de qualité", norme pin des Landes). Des îlots de vieillissement sont maintenus pour favoriser la biodiversité.

Pour limiter les risques et réduire la vulnérabilité, différentes mesures sont mises en place :

- l'utilisation progressive de variétés améliorées ou de provenances adaptées visant à compenser la baisse de rendements liée au changement climatique (utilisation de variétés hybrides Landes x Corse, Landes x Maroc, Landes x Portugal). Ces variétés sont utilisées en reboisement. Du fait de la surface de la propriété, cette pratique n'est pas exclusive et des régénérations naturelles sont aussi favorisées sur les parcelles affectées par les dégâts de tempêtes ;
- la limitation du déficit hydrique édaphique, élément clé de la productivité, par des mesures sylvicoles : éclaircies régulières et intensives, limitation du sous-étage. Ces pratiques permettent également de limiter le risque incendie ;
- une lutte préventive contre les ravageurs à travers des pratiques sylvicoles qui réduisent les niveaux de population des ravageurs ou pathogènes et qui augmentent la résistance des arbres à ces agents biotiques : reboisements différés de 2 ans après les coupes rases, mise en place de haies de feuillus et de mélange feuillus/pins, régénération naturelle, quand elle est possible (Pio et Jactel, 2010).

Ces adaptations permettront de limiter en partie les impacts du changement climatique en diminuant la vulnérabilité des peuplements et en atténuant les aléas (baisse des niveaux des populations de bio-agresseurs, économie de l'eau, utilisation de variétés améliorées, etc.) mais ne permettront pas de les éviter totalement.

■ Option PM2 : Diversification des essences et diminution de la durée des rotations

Le propriétaire est conscient des changements climatiques à venir et des risques qu'il prend à rester sur un système de monoculture. Il choisit donc de diversifier ses objectifs de production. Au vu de la surface dont il dispose, il met en place deux stratégies :

(a) Pour une partie des sols nus actuellement disponibles pour la plantation et pour les surfaces à régénérer d'ici 2050, il remplace progressivement une partie des peuplements de pin maritime par d'autres essences : résineux (*Pinus taeda*, *Pinus radiata*, *Cupressus macrocarpa*), certains eucalyptus (*Eucalyptus gunnii*, *Eucalyptus dalrympleana*, etc.) et robinier. Les essences résineuses sont conduites soit selon un itinéraire sylvicole standard, de courte révolution, soit en culture semi-dédiée. Les essences feuillues sont réservées à la production de biomasse en révolution de 8 à 12 ans (d'après les itinéraires proposés par Lesgourgues *et al.*, 2009). Cette diversification ne dépasse pas 20% de la surface forestière productive (Moria *et al.*, 2012).

(b) Pour le reste de la surface, les risques climatiques et sanitaires poussent le gestionnaire à réduire considérablement les révolutions de pin maritime en système régulier. La production de bois d'œuvre n'est plus le seul objectif. Des cultures dédiées sont mises en place avec vocation de production de biomasse (itinéraires de 20 à 25 ans, cultures semi-dédiées ou dédiées). La réduction des rotations et l'intensification des itinéraires n'améliorent pas le rendement, ni les revenus (même en prévoyant une augmentation de 20% par rapport à 2008 du prix du bois d'industrie et d'énergie, comme indiqué par la CAFSA, coopérative agricole et forestière Sud-Atlantique), mais permet de réduire les risques en diminuant la durée d'exposition aux aléas biotiques et abiotiques. Ce système risque d'entraîner une perte de biodiversité et nécessite une compensation des exportations minérales par des pratiques de fertilisation dont l'impact sur le milieu naturel sera à prendre en compte.

■ Option PM3 : Modification brutale du paysage forestier

La répétition ou la crainte de répétition des événements climatiques majeurs, remet en cause la production forestière. Le risque d'apparition de parasites invasifs (nématode du pin) accentue cette tendance. Le propriétaire se désengage de l'investissement forestier.

Quelques peuplements sont traités en futaie irrégulière, en profitant de la régénération acquise dans des peuplements déjà irrégularisés (notamment post-tempête et post-crise sanitaire). Certaines parcelles sont laissées à l'abandon. Le risque incendie augmente en conséquence.

La pression sur le foncier forestier augmente. D'autres usages sont envisagés (agriculture, production d'énergie renouvelable, etc.).

Si cette décision individuelle concerne un nombre important de propriétaires, les impacts sur la filière régionale du bois d'œuvre seraient importants, nécessitant une reconversion vers d'autres secteurs (par exemple, la trituration et le bois énergie).

Maïs irrigué dans les Landes*

Cette étude de cas a été construite de façon distincte des autres en l'absence de cas-type du réseau grandes cultures INOSYS adéquat pour cette zone et cette production. Le cas a donc été élaboré en croisant les références suivantes : documents de la Chambre régionale d'agriculture d'Aquitaine (dont le Dossier n° 30 d'octobre 2006 sur les coûts de production en grandes cultures), bulletin n° 29 du FDGEDA des Landes (février 2010) sur les marges brutes de 2009 en productions végétales, documents du SDAGE Adour-Garonne, du Conseil général des Landes, notes Agreste (dont Agreste Aquitaine n° 16 bis de mai 2008 sur la production de maïs), enquêtes pratiques culturelles de 2001 et 2006, données du Recensement Agricole de 2010, et rapports de la Direction générale de l'alimentation (DGAL) sur la chrysmèle.

1. Diagnostic de l'exploitation et de son environnement proche

■ Caractéristiques de l'exploitation

Indicateurs	Valeurs	Remarques
UTA	2 UTA (dont 1 permanente)	
SAU	95 ha	100 % maïs irrigué
Productions	Maïs grains et semences	
Parc matériel	Non renseigné (NR)	
Irrigation	100 %	
Atouts		
Contraintes	Pointe de travail	Monoculture
	Fragilité agronomique	Dépendance au climat Dépendance aux ravageurs (ex : chrysmèle des racines, détectée pour la 1ère fois en 2011 en Aquitaine, Dordogne et Gironde).

* Source : Recensement agricole 2010, SSP-MAAF.

■ Ateliers de production et résultats économiques

Produit brut maïs irrigué – zone Landes 2009 1 250 €/ha		
Maïs	1 100 €/ha	Rendement 115 qtx/ha en 2009; 95 €/t
Autres aides	150 €/ha	PAC (140 €/ha) + grêle (7 €/ha)
Charges opérationnelles maïs irrigué – zone Landes 2009 820 €/ha		
Dont intrant (hors eau)	620 €/ha	Dont 55 % engrais minéraux
Dont eau (énergie)	75 €/ha	
Dont frais de récoltes	80 €/ha	
Dont autres	40 €/ha	Assurance grêle
EBE – zone Landes 2009 (NR)		
Revenu disponible	NR	Dont annuité NR

* Cette fiche, rédigée en avril 2012, est le résultat des contributions de Sylvain Doublet, Frédéric Levraut, Antoine Poupart et Thuriane Mahé.

Marge brute	430 €/ha	A titre de comparaison : Maïs non irrigué 225 €/ha (rendement : 80 qtx/ha en 2009) Maïs semence : 1 500 €/ha Sorgho sec : 260 €/ha
Contrainte	NR	
Charges totales maïs irrigué – zone sable 2001-2003 1 400 €/ha		
Dont intrant (hors eau)	400 €/ha	
Dont eau	50 €/ha	
Dont mécanisation	350 €/ha	Sans charges fixes irrigation
Dont charges fixes irrigation	250 €/ha	
Dont autres	350 €/ha	Main-d'œuvre, fermage, autres
EBE – zone sable 2001-2003 (NR)		
Revenu disponible	NR	dont annuité NR
Marge nette	500 €/ha	Prix de vente 100 €/t et aide PAC de 50 €/t (données 2002)
Contrainte	Forte dépendance à l'irrigation	

* Source : Chambre régionale d'agriculture d'Aquitaine, FDGEDA des Landes.

Toutes les informations n'ont pu être renseignées pour le cas-type d'exploitation spécialisée en production de maïs construit spécifiquement ici. Néanmoins, les données du RICA des années 2002 à 2008 montrent que le revenu des maïsiculteurs est fortement corrélé à la possibilité d'irriguer. Le revenu moyen des irrigants et non irrigants pris ensemble était compris entre 10 000 et 20 000 euros par an pour les années 2002 à 2008, sauf pour l'année 2007 où il dépassait les 30 000 euros.

■ Contexte local

L'agriculture

L'agriculture concerne un quart du territoire landais (la forêt en occupe les deux tiers). Cette agriculture est structurée autour de la production de maïs (omniprésente dans les exploitations landaises). Le département est coupé en deux zones agricoles distinctes :

- au nord, la zone sableuse (relief plat) dominée par la forêt. L'agriculture est dominée par les productions végétales irriguées (maïs et légumes frais). La taille des exploitations est supérieure à la moyenne du département. L'élevage concerne principalement la production de poulets labellisés ;
- au sud, la zone sud Adour et Armagnac, où l'agriculture occupe plus de la moitié du territoire. Cette zone de coteaux (argileux) et de vallées (limoneuses) est le domaine de la polyculture élevage (maïs, vergers, vignes, bovins). Les élevages de volailles (grasses et maigres) sont prépondérants¹.

1. Source : Chambre d'agriculture des Landes.

Le département compte 210 000 ha de SAU (dont 133 800 en céréales) et 5 800 exploitations (-24% entre 2000 et 2010)². Ces dernières ont une superficie moyenne de 36 ha (+7 ha entre 2000 et 2010)³.

La production de maïs⁴

Le département des Landes est le premier producteur de maïs. En 2007, le maïs (y compris semence) représentait 70% de la valeur des productions végétales (soit près de 270 millions d'euros). Sur les 135 000 ha de céréales, le maïs occupe 130 000 ha (95% des surfaces). Il est cultivé dans 9 exploitations sur 10 et près des deux tiers sont irrigués (57% soit 75 000 ha irrigués sur les 94 000 ha de surfaces irriguées toutes cultures confondues du département). Cette irrigation est rendue nécessaire du fait des températures estivales élevées et de sols filtrants (sableux). Dans le Sud-Ouest, 60% de la surface en maïs sont en monoculture et dans les Landes la probabilité qu'une parcelle de maïs soit suivie de la même culture est de 92% (entre 1994 et 2003). En 2001, pour le département des Landes, les volumes d'eau utilisée pour l'irrigation s'élevaient à 2 200 m³/ha. En 2006, pour la région Aquitaine, les volumes d'eau utilisée pour l'irrigation s'élevaient à 1 700 m³/ha. Sur la base des données de 2001, cela représente une consommation annuelle (pour la culture de maïs), pour le département des Landes, de 165 millions de m³. Dans la zone des sables landais, les apports sont deux fois plus importants (quelle que soit l'année) que dans le reste de la région Aquitaine. Entre 2002 et 2006, les apports moyens ont varié de 2 250 m³/ha à 4 000 m³/ha. A noter que dans la zone littorale, les importants besoins en eau (RU faible) peuvent être compensés par des précipitations naturelles plus élevées.

Les sécheresses de 2003 et 2005 (et la mise en place des DPU) ont eu comme effet la réduction de la sole de maïs (ainsi que l'amélioration du pilotage et l'utilisation de variétés précoces pour 20% des semis en 2006). Entre 2005 et 2006, la région Aquitaine a perdu 23 000 ha dont 40% (9 000 ha) dans les Landes. Le report des surfaces (dans la région) s'est réalisé sur les céréales : blé tendre et sorgho.

Les sols

Les sables landais sont une vaste zone plane. Les sols podzolisés (résultant d'un processus d'altération chimique intense des éléments silicatés) avec des pH acides, sont lessivés dans la partie supérieure. Avec plus de 90% de sable, la RFU affiche à peine 20 mm en lande sèche et 50 mm en lande humide (Médoc) là où la nappe affleure⁵.

Climat des Landes

Le département des Landes présente un climat de type océanique, l'océan Atlantique régule le climat de ce vaste département :

- les hivers pluvieux peuvent générer des crues ;
- les printemps sont très pluvieux et frais ;
- les étés chauds et orageux alternent fortes chaleurs et violents orages, avec grandes chutes d'eau, de grêle et baisses de températures ;
- les automnes sont souvent estivaux, parfois pluvieux ; froid possible dès novembre avec de fortes gelées.

De manière récurrente, de fortes tempêtes hivernales venues de l'Atlantique provoquent d'importants dégâts dans la forêt des Landes. La moyenne des températures mensuelles oscille, à l'intérieur des terres, autour de 6 °C en janvier et de 21 °C en juillet (amplitude annuelle modérée de 15 °C). Il tombe de 700 mm à l'est du département à près de 1 300 mm sur la côte sud-ouest des Landes. A Mont-de-Marsan⁶, on relève :

- ensoleillement : 1 852 h/an ;
- pluie : 980 mm/an ;
- orage : 35 j/an ;
- brouillard : 95 j/an.

La ressource en eau du département des Landes

D'une manière générale, le bassin Adour-Garonne connaît régulièrement des étiages sévères, résultant d'un déséquilibre entre les prélèvements et les ressources disponibles. Les perspectives de réchauffement climatique et la tendance observée d'une augmentation de la durée des périodes de sécheresse laissent penser que le maintien d'un débit suffisant dans les cours d'eau sera une des clefs pour atteindre l'objectif de bon état des eaux⁷.

Entre 2005 et 2010, l'irrigation dans les Landes a progressé de 8%, en passant de 153 à 165 millions de m³ par an. Cette augmentation s'est faite à surface constante⁸. En 2010 pour le département des Landes, les prélèvements se sont répartis de la manière suivante :

- nappes : 95 millions m³ (60% des prélèvements), dont 40 sur la nappe des sables et 30 sur la nappe du Miocène ;
- rivières : 35 millions de m³ (20% des prélèvements) ;
- réservoirs collectifs et individuels : 30 millions de m³ (20% des prélèvements).

Les prélèvements d'eau s'effectuent dans la zone sableuse quasi exclusivement en eau souterraine : nappes du Pliocène-Quaternaire (nappe des sables) et du Miocène. Dans le sud du département (Chalosse), les prélèvements sont majoritairement en eau souterraine mais on trouve également des prélèvements en rivières et en réserves collinaires (15% de l'eau d'irrigation du maïs en Aquitaine).

Les niveaux des nappes fossiles des Landes⁹ sont orientés à la baisse : pendant la période 2001/2007, le déficit pluviométrique cumulé a été de 986 mm sur Mont-de-Marsan et de 1 676 mm sur Dax (soit plus d'une année de précipitation). Cette longue période de déficit pluviométrique a entraîné une baisse sensible des niveaux piézométriques des aquifères landais.

Un rapport du CESER d'Aquitaine (*L'eau en Aquitaine à l'horizon de 30 ans : 2041*), daté de 2011, apporte des éléments sur les contraintes de la gestion des ressources en eau de la région à l'avenir. Il sera nécessaire de partager l'eau entre différents usages, qu'ils soient agricoles, industriels, récréatifs ou de consommation des particuliers, et toutes les stratégies doivent pouvoir être envisagées pour contenir les consommations par usage. Substitution, redistribution et compensation sont évoquées, ce qui nécessite une grande coordination des acteurs et une adaptation du comportement des usagers.

2. Source : Agreste Aquitaine.

3. Source : Agreste.

4. Source : Agreste Aquitaine ; enquête pratiques culturales 2001 et 2006 ; enquête sur l'utilisation du territoire.

5. Source : GIS Sol.

6. Source : Chambre d'agriculture des Landes.

7. Source : SDAGE Adour-Garonne.

8. Source : Observatoire de l'eau Adour-Garonne.

9. Source : Conseil Général des Landes.

La chrysomèle des racines du maïs, un insecte ravageur potentiel

La chrysomèle des racines du maïs (*Diabrotica virgifera virgifera* Leconte) est un organisme nuisible, auparavant inexistant sur le territoire français. C'est le principal ravageur du maïs en Amérique du Nord. Son apparition n'est pas un effet direct du changement climatique, mais elle est vraisemblablement liée aux transports aériens et routiers, et a débuté en Italie et en Europe centrale. C'est néanmoins un facteur possible de réduction des rendements du maïs à l'avenir qu'il ne faut pas oublier.

Cet insecte provoque des dommages sur les cultures de maïs par les larves. En consommant les racines d'ancrage, celles-ci entraînent parfois une verse des plantes. Cet organisme est à présent réglementé et différentes mesures sont appliquées en France, conformément à la décision 2003/766/CE de la Commission (mise en œuvre au niveau national par l'arrêté de lutte du 28 juillet 2008 modifié) : 1) un plan de contrôle pour les zones confrontées à des foyers les années antérieures qui semblent installés et 2) un plan de surveillance pour une détection précoce des foyers dans les zones indemnes au moyen de pièges à phéromones.

Depuis 2010, et suite à des difficultés d'éradication de ce nuisible, le contrôle de cet insecte a évolué vers une logique de confinement, actuellement appliquée en Alsace et dans les cinq départements de Rhône-Alpes concernés par la chrysomèle. Cette logique consiste en une rupture de la monoculture de maïs à l'intérieur de ces zones de confinement, et des mesures de lutte avec rotation obligatoire une année sur six ou une année sur trois et larvicide obligatoire dès la troisième ou deuxième année de maïs (en fonction du niveau des captures). En 2011, le plan de surveillance a mis en évidence deux nouveaux foyers en Aquitaine (comme en région PACA), ce qui confirme la progression des populations de cet insecte vers les zones de production de maïs du Sud-Ouest. Une dissémination croissante future de l'insecte en Aquitaine peut d'ores et déjà être envisagée. Selon l'évolution de la réglementation, la monoculture de maïs dans le Sud-Ouest pourrait alors être soumise aux contraintes des zones de confinement actuelles, et ce, autour des foyers d'insectes susceptibles de devenir « installés ». Cependant, il

faut noter que le développement des populations de chrysomèle dépend fortement de la texture des sols : ceux qui sont sableux sont défavorables à son installation, contrairement aux sols argileux. L'invasion de l'insecte varierait alors fortement selon la zone pédologique. D'autres facteurs peuvent influencer la dynamique de cet insecte : climat humide défavorable, pratiques culturales limitant les dégâts telles que l'usage de variétés tardives et l'irrigation maîtrisée. Ainsi, parmi les techniques culturales efficaces dans la lutte, les semis tardifs montreraient des résultats satisfaisants dans nos conditions d'infestation relativement basses. Les larves de la chrysomèle ne trouvent alors pas de racines pour se nourrir et meurent d'inanition. Mais les semis tardifs ne sont pas nécessairement la meilleure option pour tenir compte des effets du changement climatique¹⁰.

2. Effets du changement climatique sur le système d'exploitation

■ Description du changement climatique et des impacts attendus

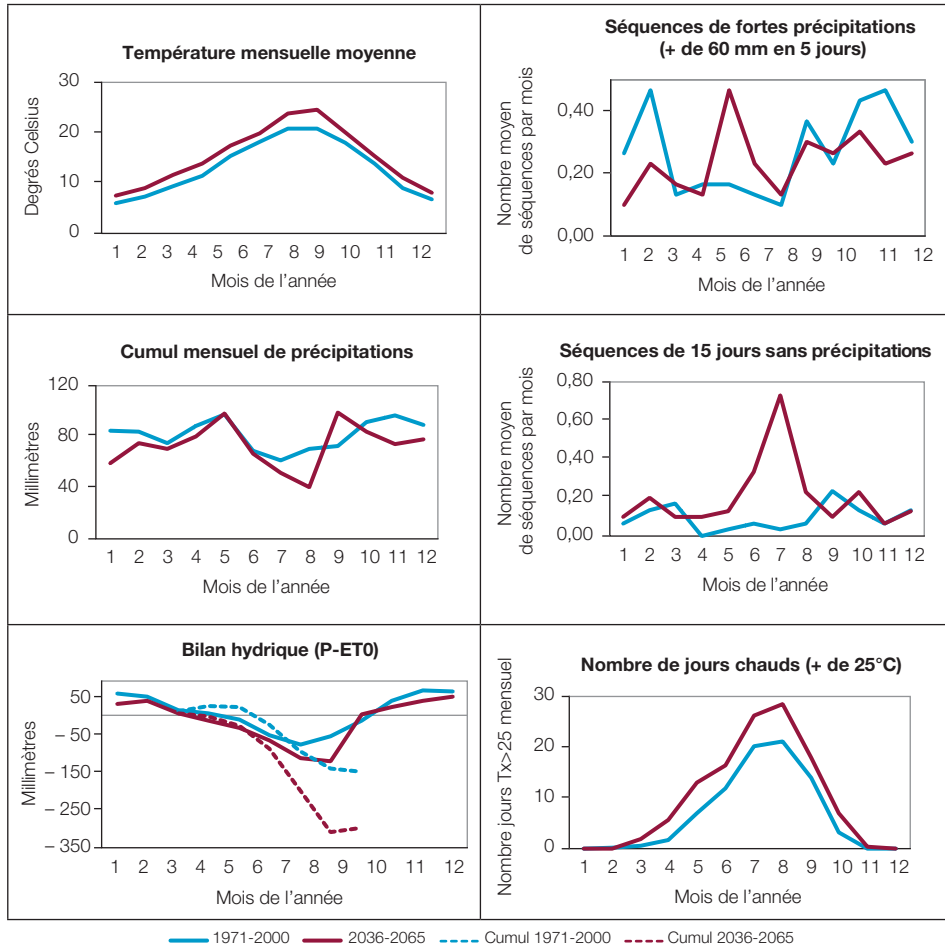
Les données suivantes sont issues de simulations climatiques mensuelles réalisées spécifiquement pour cet exercice à partir de données Météo-France. Elles concernent d'une part une période de référence centrée en 1985 allant de 1971 à 2000. D'autre part, elles concernent une seconde période future centrée en 2050 (l'horizon temporel de la présente étude prospective) allant de 2036 à 2065.

La comparaison entre les périodes 1971-2001 et 2036-2065 montre :

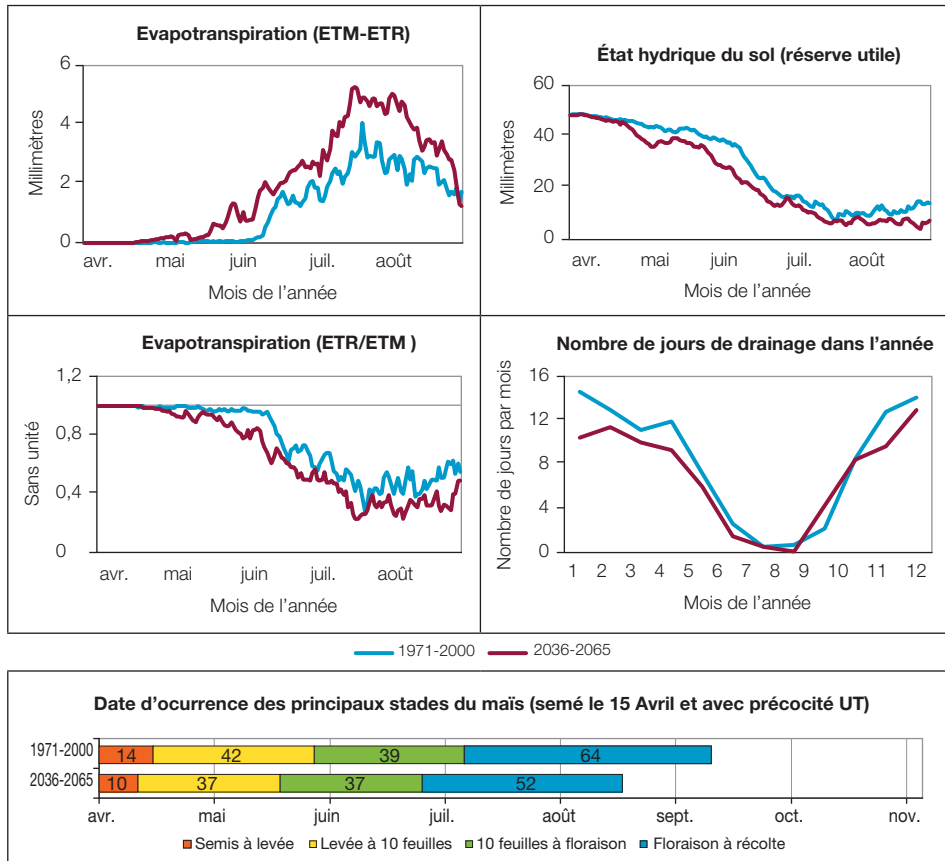
- une augmentation des températures relativement homogène sur l'année de 2°C (plus marquée sur juillet-août avec + 3°C) ;
- un cumul mensuel de pluie légèrement inférieur sur le premier semestre, dégradé sur le second semestre ;
- un bilan hydrique (P-ETO) très dégradé de juillet à septembre.

10. Source : Direction générale de l'alimentation.

Station de Mont-de-Marsan



Maïs – principaux indicateurs de l'état hydrique (RU : 50 mm)



■ Effets attendus du changement climatique sur les cultures du système étudié

Maïs grain en monoculture

Effets du CC sur ↓	Description
Durée des cycles culturaux	A semis et variétés similaires à ceux d'aujourd'hui, il y raccourcissement du cycle cultural du maïs. Bordeaux : -19,4 jours du passé récent (PR) au futur proche (FP) ; -34,5 jours du passé récent au futur lointain (FL) ; moyenne sur 12 sites : -25,3 jours du passé récent au futur proche ; -41,0 jours du passé récent au futur lointain. Ce raccourcissement se répercuterait sur la durée d'interception de rayonnement lumineux et sur la durée de la période de remplissage des grains, induisant une diminution du potentiel de rendement (Brisson et Levrault, 2010).
Durée d'interculture	En monoculture, l'avancement des dates de récolte, largement supérieur à l'avancement des dates de semis, entraînera une augmentation de la durée d'interculture. La valorisation de cette période par une culture intermédiaire sera fortement inféodée à la possibilité d'irriguer (<i>a minima</i>) cette culture intermédiaire (Brisson et Levrault, 2010). En termes de disponibilité thermique, c'est-à-dire les sommes de températures au-dessus de 6°C, pour le maïs, l'accroissement est d'environ 170°C.j entre le passé récent et le futur proche centré en 2040 (Brisson et Levrault, 2010). Ce facteur thermique permet dans l'absolu l'utilisation de variétés de maïs à potentialité de rendement plus élevée mais sous réserve de disponibilité en eau suffisante.
Conditions de semis, récolte	Semis : l'augmentation des températures et le moindre engorgement en eau des sols permettront un avancement des dates de semis, levier important d'adaptation au changement climatique (Brisson et Levrault, 2010). La diminution de nombre de jours de gel (Brisson et Levrault, 2010) est également intéressante pour l'avancement des dates de semis du maïs.
Rendements	Sans aucune adaptation des semis et des variétés, il y a une baisse significative des rendements, en maintenant l'irrigation à 80 % de l'ETM (Brisson et Levrault, 2010) : - de 0,9 t de matière sèche/ha entre le PR et le FP ; - de 1,5 t de matière sèche/ha entre le PR et le FL. Cette baisse des rendements, que l'on retrouve dans l'ensemble du Sud-Ouest (sites de Toulouse et Lusignan) découle : - de la forte réduction de la durée du remplissage des grains ; - de l'absence de compensation CO ₂ liée au métabolisme en C4 du maïs.

Effets du CC sur ↓	Description
Qualité des récoltes	Une réduction des besoins en séchage permise par l'avancée des stades (déjà observée aujourd'hui).
Sol (humidité, matière organique, salinité, érosion)	L'augmentation tendancielle des sécheresses édaphiques mensuelles sur la période 1958-2008 se poursuivrait à l'avenir (Soubeyrou <i>et al.</i> , 2011), avec 40 à 80 % du temps en période de sécheresse édaphique à l'horizon 2050 (d'après le projet Climsec). En particulier, les conditions du sol au moment du semis en date actuelle pourraient se dégrader.
Disponibilité en eau	Dans cette étude de cas, la culture du maïs n'est pas concevable sans irrigation (ni actuellement ni à l'avenir). La poursuite de cette irrigation sera donc fortement inféodée à la capacité du milieu à fournir l'eau d'irrigation.
Qualité du grain	Pas d'effets significatifs.
Aléas climatiques, destruction des récoltes	<i>A priori</i> , rien de particulier lié au changement climatique.
Besoins en irrigation	A date de semis et variété fixées, les besoins en irrigation, pour maintenir l'ETR à 80 % de l'ETM, augmentent de 30 mm à 45 mm par campagne entre le PR et le FP pour la station de Bordeaux. Comparativement à l'effet du changement climatique sur les besoins en irrigation, le poids de la variabilité interannuelle et du sol reste cependant prépondérant dans la variation des besoins en irrigation (Brisson et Levrault, 2010) *.

* Sur l'évolution des rendements, les résultats de l'étude Climator (Brisson et Levrault, 2010) divergent fortement de ceux d'autres prospectives (Acta-Mires, 2009). Dans Climator, aucune hypothèse d'adaptation n'est faite sur les semis et les variétés.

■ Synthèse : effet du changement climatique sur le système d'exploitation

Deux effets du changement climatique sont forts : l'augmentation de la température et l'augmentation du déficit hydrique. Il en résulte, pour une variété et une date de semis identiques, un cycle de culture plus court. Les rendements sont par conséquent potentiellement plus faibles. Si l'agriculteur mise alors sur une variété plus tardive et une date de semis avancée pour décaler le cycle de croissance et pour compenser la perte potentielle de rendement, la plante aura des besoins accrus en eau donc en irrigation. La disponibilité des ressources en eau est donc un élément critique.

3. Options d'adaptation à l'échelle de l'exploitation et de son territoire

■ Option M1 : Augmenter les rendements en utilisant de nouvelles variétés et en mobilisant davantage d'eau

Dans cette option, le système actuel de production de maïs est conforté. Le chef d'exploitation cherche à tirer parti du changement climatique. Il réalise d'une part des semis plus précoces. Il utilise d'autre part des variétés plus tardives. Un développement du stockage d'eau l'hiver et l'accroissement des volumes d'irrigation sont alors nécessaires au maintien des surfaces en maïs. Ainsi, l'option implique un arbitrage très favorable, voire prioritaire, à l'agriculture par rapport aux différents usages de l'eau, y compris les besoins des industries de l'énergie, par exemple.

■ Option M2 : Diversifier l'assolement face à la contrainte hydrique et réserver l'irrigation aux cultures rémunératrices

Le choix de l'exploitation est de faire face à une baisse de la ressource en eau, compte tenu des tensions sur la ressource au niveau régional. Ainsi, les prélèvements pour l'irrigation n'augmentent pas à l'échelle de l'exploitation, mais sont répartis différemment.

Cette eau irrigue alors une surface moindre en maïs de manière à garantir une bonne productivité sur cette zone. Les surfaces ainsi irriguées se tournent vers le maïs doux et le maïs semence, des productions davantage rémunératrices, de manière à maintenir le revenu. Une partie de la surface de l'exploitation ainsi libérée est consacrée à des cultures moins gourmandes en eau (sorgho, légumes). Les moyens de l'exploitation consistent donc à concentrer l'effort d'irrigation et à diversifier l'assolement sur les zones moins irriguées.

■ Option M3 : Abandon de la production de maïs et réorientation vers des cultures économes ou des usages non agricoles

La ressource en eau se raréfie et l'arbitrage entre ses usages est défavorable à l'agriculture. L'impossibilité de faire face aux besoins croissants d'irrigation du maïs conduit à de fortes baisses de rendement et à la disparition progressive de cette culture. Les surfaces ainsi libérées peuvent être consacrées à des cultures plus économes en eau, à des usages non agricoles (production d'énergie, urbanisation) voire être abandonnées (déprise agricole, afforestation).

Arboriculture fruitière dans le Vaucluse *

1. Diagnostic de l'exploitation et de son environnement proche

■ Caractéristiques de l'exploitation

Indicateurs	Valeurs	Remarques
SAU (ha)	4	39 ha de vergers irrigués dont 34 ha en pommes et 4 en poires 3 ha de grandes cultures (blé dur), 1 ha de légumes (1 ha « autres légumes », 2 ha « non production », 2 ha « non cultivés »)
UTA	1	dont 2,5 salariés permanents
Parc matériel	Taille, pulvérisation, récolte, transport, manutention	40 % des charges pour la traction et 30 % pour la récolte et le conditionnement
Bâtiments	3 500 m ² couverts	1 500 m ² de conditionnement et stockage plusieurs chambres froides (capacité 1 000 t)
Atouts	Diversité variétale de pommes Capacité de conditionnement et de stockage	Variétés : golden, bicolores, innovantes (contrats Pink Lady® rentables *)
Contraintes	Pointe de travail en été et automne	Main-d'œuvre temporaire (14 salariés) difficile à recruter
Perspectives	Maîtrise de la filière	Développement des organisations de producteurs
	Choix de variétés innovantes	Abandon de certaines variétés (rouges américaines et Granny Smith)

* Le Club ou l'association Pink Lady® Europe a été créé en France en 1997. Il réunit un groupe de pépiniéristes, de producteurs et de metteurs en marché auxquels sont associées les différentes institutions de recherche ou d'expérimentation nationales [...]. Cette démarche permet de faire de la pomme un produit marketé, protégé par le dépôt d'un Certificat d'Obtention Végétale (COV) européen (nom commercial). » (Source : Agreste)

Source : INOSYS - Réseau grandes cultures, cas-type n°5 Arboriculteur « Grandes exploitations spécialisées en pommes », Chambre d'agriculture du Vaucluse, 2007.

■ Systèmes de production et résultats économiques

Système de production		
Vergers	80 % pommes, 20 % poires	Variétés : Golden, Reine des Reinettes et Guyot
Grandes cultures	Blé dur	
Fertilisation	100 % minérale	
IFT Pomme	30 (moyenne Sud-Est)	
IFT Blé dur	1,33 (région PACA, 2008)	

Résultats économiques		
Charges variables	2 900 €/ha	dont 50 % pour le conditionnement et 30 % pour les pesticides
Charges de structure	11 000 €/ha	dont 65 % de frais de personnel (emploi saisonnier – 660 heures/ha)
Produit brut	18 000 €/ha	dont 5 % PAC (900 €/ha)
EBE	4 000 €/ha	dont 33 % annuités et frais financiers – (76 % d'endettement)

* Récolte 2007.

Source : INOSYS - Réseau grandes cultures, cas-type n°5 Arboriculteur « Grandes exploitations spécialisées en pommes », Chambre d'agriculture du Vaucluse, 2007.

■ Contexte local

Éléments paysagers et agro-environnementaux du territoire

Le cas type étudié est situé dans le département du Vaucluse (station météo de référence : Carpentras), au confluent de la Vallée du Rhône et de la vallée de la Durance. L'altitude varie de 20 à 1908 m (Mont Ventoux). Le relief présente une alternance de montagnes, de plateaux et de plaines parsemées de collines. Les activités agricoles sont concentrées en plaine et en coteaux (vigne).

La viticulture est l'activité agricole dominante (50 % des 6 000 chefs d'exploitation en 2007); l'arboriculture fruitière vient en deuxième place avec 10 % des chefs d'exploitation en 2007. C'est le premier département français producteur de pommes Golden et le deuxième producteur de poires Guyot.

D'un point de vue agro-environnemental :

- il n'y a pas de zone classée en zone vulnérable sauf quelques cantons autour de Carpentras;
- une partie des bords de la Durance est en zone Natura 2000;
- une partie du département est couvert par le Parc Naturel Régional du Lubéron;
- une grande partie des masses d'eau (cours d'eau et nappes) nécessite la mise en place d'actions pour réduire les concentrations en pesticides (et en nitrates);
- un aléa d'érosion moyen sur le département mais localement fort sur les coteaux (érosivité liée au climat méditerranéen)¹;
- la densité de bocage est moyenne;
- l'artificialisation et la pression urbaine sur les terres agricoles sont très fortes (diminution de 10% de la SAU dans le Vaucluse entre 2000 et 2010 pour une diminution de 3 % France entière²).

* Cette fiche, rédigée en janvier 2012, est le résultat des contributions de Sylvain Doublet, Jean-Michel Legave (INRA) et Thuriame Mahé.

1. Source : GIS Sol.
2. Source : Agreste, recensement agricole 2010.

Sols

Les sols (en plaine) sont argilo-limoneux et sablo-argileux (sols calcaires, pH > 8 - 25% d'argile) avec un potentiel agronomique élevé (peu de pente, fertilité chimique moyenne, risque de battance faible, bonne réserve utile), à l'exemple de la plaine du Comtat.

Caractéristiques des sols du Vaucluse

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Texture	Argilo-calcaire (sablo-argileux)	25% d'argile pH > 8
CEC	8-12 cmol/kg	Taux de saturation proche de 100% - bonne fertilité chimique
Carbone organique	10 à 14 g/kg (50 à 60 t/ha)	Soit environ 2% de matière organique (stable sur la période 1990-2004)
Sensibilité à la battance	Faible	
Situation hydrique		
Hydromorphie	Pas de risque	
Réserve utile	moyenne	150 mm

Source : GIS Sol.

Climat (données Carpentras)

La commune est située en climat méditerranéen avec 2 saisons sèches (l'une brève en hiver, l'autre longue en été, entrecoupée d'orages parfois violents) et 2 saisons pluvieuses (en automne avec des pluies abondantes voire torrentielles et au printemps).

Les températures moyennes mensuelles sont comprises entre 6°C (minima de janvier) et 35°C (maxima de juillet-août 24°C, avec des pointes fréquentes à 35°C).

L'ensoleillement est très élevé, de l'ordre de 2 700 heures par an.

Les précipitations sont modérées autour d'une valeur de 600 à 700 mm (1 000 mm en montagne). La répartition des pluies est hétérogène sur l'année : 80 à 100 jours de pluie au printemps et à l'automne.

Les épisodes climatiques extrêmes peuvent être :

- les orages (plus de 20 par an avec grêle fréquente) ;
- le vent (plus de 100 jours par an ; vent du nord : Mistral) ;
- les gelées (50 jours par an de novembre à avril) ;
- la neige (moins de 5 jours par an).

L'agriculture, en particulier l'arboriculture, s'est adaptée à ces conditions particulières en :

- développant des canaux d'irrigation pour assurer la maîtrise de l'eau car 90% des exploitations ayant un verger irriguent³ ;
- mettant en place des brise-vents pour atténuer les effets négatifs des vents de secteur nord ;
- utilisant une couverture paragrêle sur les vergers (environ 30% des exploitations ayant un verger) ;
- utilisant une protection contre le gel (environ 30% des exploitations ayant un verger), par chauffage ou aspersion (sur frondaison) pour l'essentiel.

Disponibilité de la ressource en eau, irrigation et déficit hydrique

Les ressources en eau du département sont multiples (nappe, cours d'eau, canaux sur la Durance). Divers modes d'irrigation sont utilisés (gravitaire, aspersion et micro-irrigation), mais l'irrigation gravitaire est dominante. Le Vaucluse compte 40 000 hectares irrigués. L'arboriculture représente environ 40% des surfaces irriguées. C'est la part la plus importante dans le département devant le maraîchage (23%) et la vigne (15%). La quasi-totalité des parcelles en arboriculture sont irriguées avec des volumes variant pour la pomme de 10 000 m³ en gravitaire (ce qui concerne environ 50% des surfaces irriguées du Vaucluse), à 4 000 m³ en aspersion (environ 25% des surfaces irriguées) et à 3 000 m³ en micro-irrigation (environ 25% également des surfaces irriguées, entre goutte-à-goutte et micro-aspersion). L'irrigation de précision permet donc d'utiliser trois fois moins d'eau que l'irrigation gravitaire. Par ailleurs, environ 60% de la ressource en eau sont gérés par des réseaux collectifs.

L'irrigation est indispensable pour l'obtention de pommes de qualité, en particulier pour un bon calibre (> 75 mm) de fruits. Toutefois, il semble que le fractionnement intensif de l'irrigation conduit à une surconsommation d'eau par les pommiers, à une stimulation excessive de la pousse végétative, et par conséquent à une moindre coloration des fruits (phénomène dit « d'ombrage »)⁴.

Une grande partie du département est en secteur déficitaire en eau, et les principales rivières du département ont leur débit d'étiage presque nul en été. Les déficits hydriques (rapportés à la réserve utile des sols) sont très marqués dès le mois de juin (taux de remplissage de la RU inférieur à 20%). Depuis 2003, les épisodes de sécheresse (climatique) se sont succédés et le déficit pluviométrique cumulé a imposé la mise en place de mesures d'économie (mise en place d'un plan-cadre sécheresse) et de préservation des ressources locales (interdiction de nouveaux forages dans la nappe du miocène et fermeture des ouvrages existants).

Pour les décennies à venir, les tensions sur la ressource en eau devraient s'accroître et des projets pour capter les eaux du Rhône sont à l'étude.

2. Effets du changement climatique sur le système d'exploitation

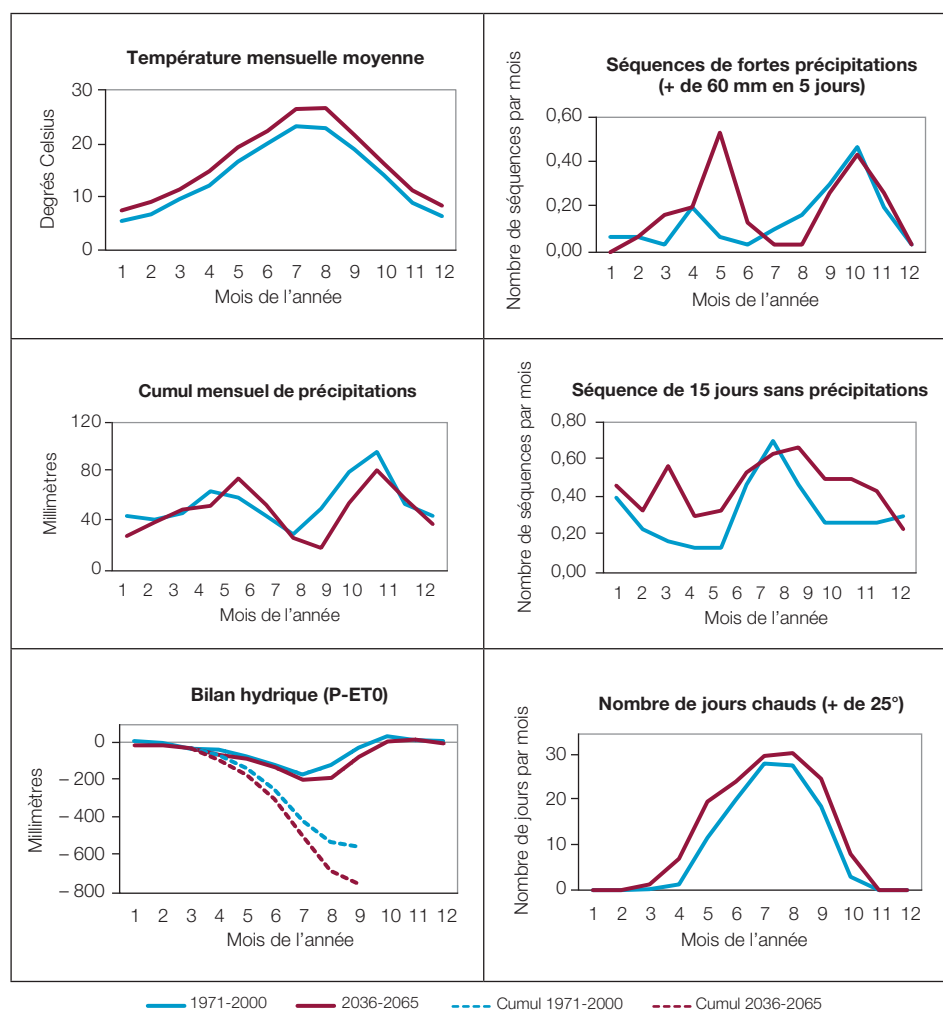
■ Description du changement climatique et des impacts attendus

Les données suivantes sont issues de simulations climatiques mensuelles réalisées spécifiquement pour cet exercice à partir de données Météo-France. Elles concernent d'une part une période de référence centrée en 1985 allant de 1971 à 2000. D'autre part, elles concernent une seconde période future centrée en 2050 (l'horizon temporel de la présente étude prospective) allant de 2036 à 2065.

3. Source : ADIV 84, association des irrigants de Vaucluse.

4. Source : ARDEPI, association régionale pour la maîtrise des irrigations.

Station de Carpentras



D'après les graphiques ci-dessus, la comparaison entre les périodes 1971-2001 et 2036-2065 à Carpentras montre :

- une augmentation des températures homogène sur l'année ;
- un cumul de pluie meilleur sur le premier semestre, mais dégradé sur le second semestre ;
- un confort hydrique diminué de juillet à octobre ;
- un nombre de jours échaudants nettement supérieur sur le premier semestre.

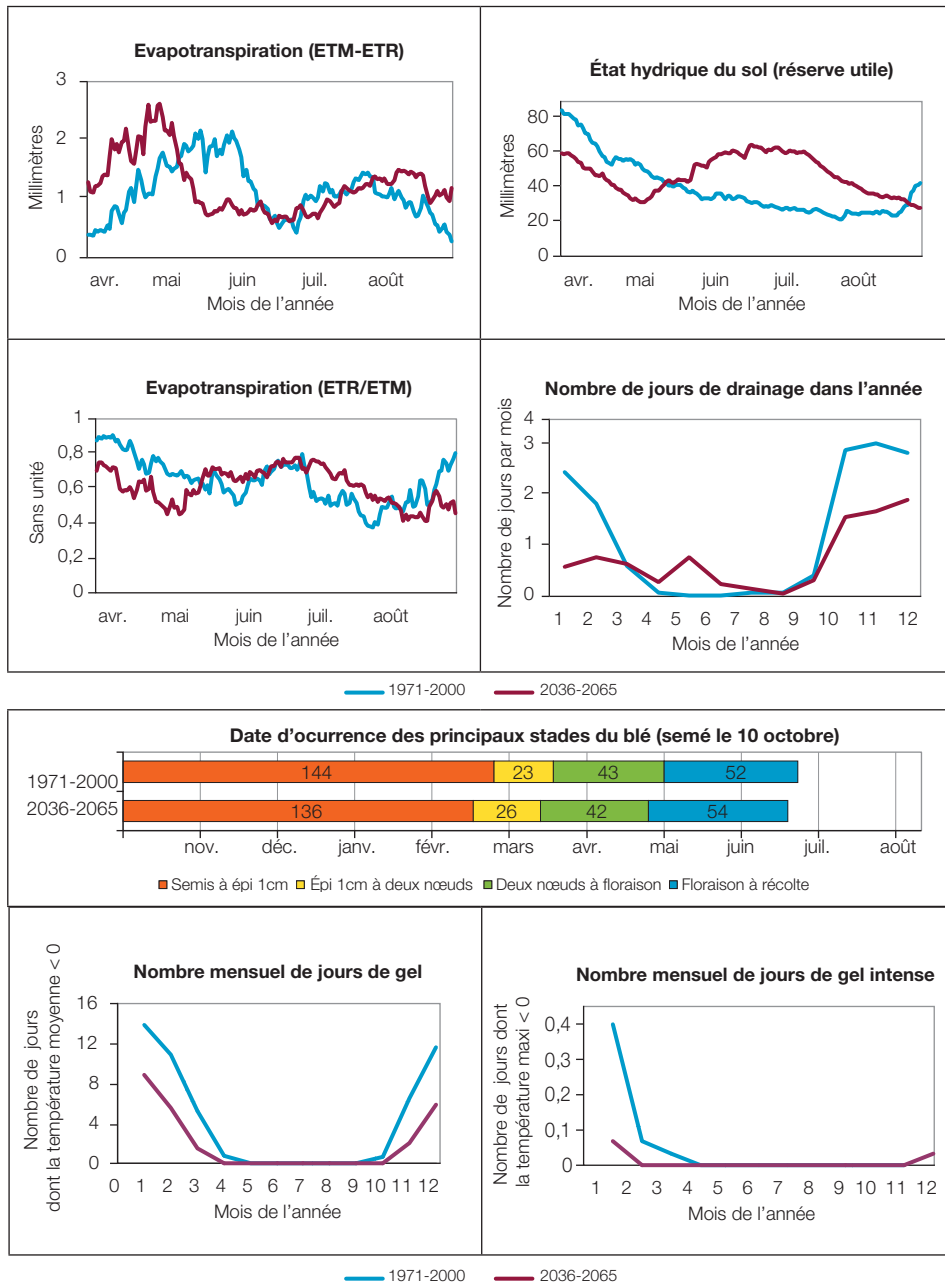
Les graphiques qui suivent ne concernent que le blé, la culture de blé dur étant une production (minoritaire) de l'exploitation. Il n'y a pas de modélisation du confort hydrique du pommier, mais celui-ci est décrit qualitativement plus loin dans le tableau des impacts du changement climatique.

En prenant comme modèle un blé et un sol dont la réserve utile est de 150 mm, on constate les conséquences agronomiques suivantes :

- le confort hydrique (ETR/ETM) est plus faible d'avril à juin,
- les besoins en eau supplémentaire (ETM-ETR) sont supérieurs au démarrage puis inférieurs à partir de juin ;
- l'état de la réserve hydrique des sols se dégrade en début d'année puis s'améliore en août ;
- les restitutions au milieu (nombre de jours de drainage) sont supérieures au printemps mais inférieures le reste de l'année.

Enfin, le nombre de jours de gel diminue au printemps et à l'automne, mais cet effet peut être contrebalancé par l'avancée des stades phénologiques. L'effet n'est donc pas clair.

Blé - principaux indicateurs de l'état hydrique (RU : 150 mm)



Changement climatique et régime hydrologique de la Durance

La Durance est un cours d'eau d'environ 300 km, depuis sa source dans les Alpes jusqu'au Rhône. En amont du lac et du barrage de Serre-Ponçon, son débit est de type torrentiel. L'importance des massifs montagneux dans le bassin versant de la Durance influence fortement son débit, par l'intermédiaire de l'enneigement, de la ressource en eau des massifs concernés et des conditions climatiques hivernales. Le barrage d'Escale permet ensuite de modifier le débit aval de la Durance.

D'après une étude sur l'effet du changement climatique, l'impact d'un réchauffement homogène (avec une

augmentation de la température de 1,8°C et doublement du CO₂ atmosphérique) sur le manteau neigeux du bassin de la Haute-Durance affecte le débit annuel, qui décroît sensiblement (de 0 à 20% selon le scénario). Les débits augmentent en automne et en hiver, mais diminuent sensiblement en été. Les forts débits printaniers se produisent un mois plus tôt, en lien avec une fonte des neiges plus précoce, et leur amplitude reste cependant inchangée pour certains scénarii, mais diminue de 10 à 25% pour les autres. Ainsi, la ressource en eau pour l'irrigation de la Basse-Durance pourrait diminuer à terme (Etchevers et Martin, 2002).

■ Effets attendus du changement climatique sur les cultures du système étudié

Cultures annuelles : blé dur

Effets du CC sur ↓	Description
Durée des cycles culturaux	Besoins moindres en vernalisation (par comparaison au blé tendre) d'où moindre sensibilité aux élévations de températures hivernales. Augmentation de l'exposition au stress thermique (jours échaudants) en fin de cycle (moins défavorable aux variétés à cycle court) (Brisson et Levrault, 2010).
Rendements	Légère baisse ou stagnation en mode pluvial, mais hausse en mode irrigué, malgré une plus grande tolérance au déficit hydrique que le blé tendre (Brisson et Levrault, 2010).
Disponibilité en eau	Baisse du déficit hydrique au printemps (d'avril à juin) mais augmentation du déficit hydrique en été (Météo-France).
Échaudage	Forte sensibilité à l'échaudage mais durée de remplissage du grain plus réduite que celle du blé tendre, d'où des possibilités d'esquive plus importantes (Brisson et Levrault, 2010).
Aléas climatiques, destruction des récoltes	Peu d'informations sur le risque de grêle.

Cultures pérennes : arboriculture

Effets du CC sur ↓	Description
Stades phénologiques	Avancée des stades de floraison observée depuis la fin des années 1980 en région méditerranéenne (+ 6 jours pour le pommier) (Guédon et Legave, 2008). Selon des modélisations phénologiques, deux effets opposés d'importance inégale expliqueraient les avancées de floraison observées : (1) des besoins en froid moins rapidement satisfaits pour la « levée de dormance » avec une durée qui tend à augmenter (+ 2 à 6 j) et (2) des besoins en chaleur plus rapidement satisfaits entraînant une diminution de la période de croissance florale (- 11 à 13 j) * (Legave, 2009).
Rendements	1. Besoins en froid satisfaits plus lentement d'où des risques d'étalement excessif de la floraison (possible étalement accru de la maturité des fruits) et de non concordance de floraison entre variétés devant s'inter-polliniser (d'où de possibles baisses de rendement par pollinisation insuffisante). Ces risques « nouveaux » sont davantage probables pour les variétés les plus exigeantes en froid automnal et hivernal. 2. Augmentations possibles d'effets négatifs des températures relativement élevées (anomalies de l'organogénèse florale, diminution de la qualité des organes floraux et des fruits) (Legave, 2009). 3. Dégradation du confort hydrique pouvant induire une baisse de rendement.
Périodes des récoltes	Avancées de la maturité des fruits résultant des avancées de floraison et de durées plus courtes de la croissance des fruits (de la nouaison à la maturité). Ces avancées (déjà observées dans certaines conditions) sont plus probables pour les espèces précoces.
Qualité des récoltes	En lien avec l'évolution des stades phénologiques, possible augmentation de la croissance végétative : possibles effets défavorables sur l'initiation florale (vigueur excessive de végétation). Baisse de la qualité des fruits : moins de coloration, moins d'acidité, fruits doubles, etc.
Aléas climatiques et destruction des récoltes	Le risque de gel diminue (diminution des jours de gel). L'évolution du risque de grêle, impossible à quantifier par les simulations climatiques, pourrait toutefois contrebalancer cet effet positif (Météo-France).

Effets du CC sur ↓	Description
Pression parasitaire	– Carpocapse des pommes : augmentation possible du nombre de générations de ce parasite avec le réchauffement (Stoeckli <i>et al.</i> , 2012 ; Hirsch M <i>et al.</i> , 2012). – Extension géographique possible de certains ravageurs. – Émergence de nouveaux ravageurs (GIS Fruits, 2011).
Disponibilité en eau	Restitutions d'eau au milieu plus faibles, entraînant des étiajes encore plus sévères. Stress hydrique plus élevé à partir de juin par rapport à la période climatique de référence (Météo-France).
Autre	Plus qu'un stress en particulier, c'est la conjonction/accumulation de plusieurs facteurs de stress biotiques et abiotiques qui présente des conséquences difficilement prévisibles (GIS Fruits, 2011).

* Ces chiffres seraient respectivement de + 3 à + 5 jours et - 10 à - 13 jours pour la France entière (source : Gleizer *et al.*, 2007)

■ Synthèse : effet du changement climatique sur le système d'exploitation

En conclusion, les conséquences du changement climatique dans le contexte local de l'étude de cas seront variables selon les cultures et pourraient surtout être visibles pour les cultures annuelles dont les stades phénologiques principaux sont en été et à l'automne.

Pour les arbres fruitiers, d'après des données observées dans la période de passé récent, des avancées de la floraison ont été déjà observées en fin d'hiver et au début du printemps. Au vu des besoins en eau des pommiers (et poiriers), la situation hydrique est et deviendra particulièrement préoccupante étant donnée la baisse des pluies et l'augmentation de l'évapotranspiration potentielle en fin d'été et en début d'automne (période de remplissage des fruits).

A l'avenir, la réduction du nombre de jours de gel en avril et en juin pourrait être favorable à l'arboriculture fruitière selon l'avancée de la floraison. Si les contraintes en eau se révèlent importantes pour la fructification en été, les conditions climatiques de 2050 seront potentiellement plus propices aux espèces à fructification précoce (pêches, abricots, prunes) ou adaptées à un climat plus sec (amandes, olives), aujourd'hui peu ou pas cultivées dans l'exploitation.

Il existe par ailleurs de fortes incertitudes sur l'évolution de la pression parasitaire en lien avec le changement climatique. Cette dernière pourrait devenir un facteur de baisse de rendement à l'avenir.

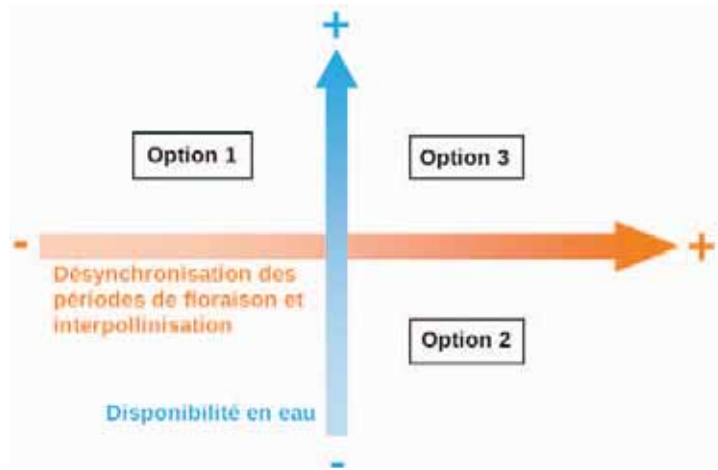
Pour le blé dur (sur des sols avec des RU importantes - 150 mm), la situation est relativement plus favorable dans le futur que dans le passé récent (moins de stress hydrique, démarrage plus précoce). Cependant un printemps humide et chaud risque d'augmenter les risques de maladie et d'échaudage. Pour des sols avec de faibles RU (< 100 mm), les situations seront plus difficiles et nécessiteront probablement une irrigation « de démarrage » pour éviter les pertes de rendement liées à la sécheresse des sols à la montaison.

Quelles que soient les cultures, les restitutions au milieu seront plus faibles, entraînant des étiajes encore plus sévères.

3. Options d'adaptation à l'échelle de l'exploitation et de son territoire

Les options de cette fiche sont classées selon l'importance des effets du changement climatique sur : (i) la disponibilité de l'eau d'irrigation, notamment dans la Durance; (ii) la désynchronisation des floraisons d'arbres fruitiers, ce qui peut réduire le rendement.

Les trois options proposées correspondent ainsi au schéma suivant :



■ Option A1 : Investir dans l'irrigation de précision sans changer l'orientation principale

La contrainte la plus forte de cette option est la baisse de disponibilité de la ressource en eau, mais le choix d'une rationalisation de l'irrigation au niveau local favorise l'arboriculture qui reste l'objectif principal de production de l'exploitation. Certains effets du changement climatique représentent par ailleurs une opportunité : possible diminution du nombre de jours de gel, date de floraison aléatoire mais rééquilibrée pour la récolte. La taille d'exploitation reste la même, le verger continue d'être spécialisé en pommiers et en poiriers. Il évolue progressivement avec l'appui de travaux sur les ressources génétiques pour adapter les variétés et les porte-greffes au changement climatique (replantation sur certains rangs du verger). L'arboriculture, sous réserve d'une irrigation de précision adaptée, bénéficie encore de la ressource en eau, ce qui demande des investissements. Par ailleurs, les débouchés des productions fruitières sont proches de quelques centres de consommation urbains et périurbains en attente d'une plus grande fraîcheur des fruits et de moins de transports, consommateurs d'énergie.

■ Option A2 : Améliorer la résilience aux aléas climatiques en adaptant la conduite du verger et en renforçant la part du blé

Dans cette option, les effets du changement climatique sont importants. L'exploitation opte pour une production plus élevée de blé dur sur les parcelles les plus exposées à la sécheresse l'été. Elle maintient alors son verger en le faisant évoluer sous contrainte. Le blé dur est cultivé sans irrigation et ce sont les variétés précoces qui sont le plus souvent semées. Le verger connaît plus de difficultés d'adaptation au changement climatique, avec une grande fluctuation des stades de dormance, de floraison et de maturation, ainsi que des problèmes de pression parasitaire qui perturbent le travail d'entretien. Les adaptations sont en premier lieu techniques : la taille est plus tardive et minutieuse. L'exploitation s'essaie également à d'autres stratégies : développement de haies d'arbres pour les organismes auxiliaires et évolution vers une arboriculture du type maraîchage, arbres fruitiers, haies pouvant aller jusqu'à une situation agroforestière. L'exploitation diversifie ses productions fruitières avec des espèces plus adaptées : abricotiers, pêchers.

Variante

L'exploitation vise une production sous label de qualité, voire biologique, avec un effet marqué de diversification des productions fruitières et dans un but de réduction systématique des charges : moins d'intrants et de pesticides, moins de main-d'œuvre et donc moins de production.

■ Option A3 : Adaptation faible du verger, difficultés majeures et potentielle disparition de l'exploitation

Les effets du changement climatique se voient sur les dates de floraison des arbres fruitiers de l'exploitation, moins sur le manque d'eau qui reste disponible pour l'irrigation. Certaines variétés sont plus touchées que d'autres. Pour le reste, la qualité des fruits compense régulièrement la moindre quantité récoltée, dans un premier temps. Peu de changements sont réalisés par l'exploitation qui peine à investir dans des outils d'irrigation de pointe à large échelle et dont l'objectif est plus ou moins de maintenir la production telle quelle. Certaines années, les attaques parasitaires compromettent fortement la production. Quelques nouvelles variétés (principalement pommiers et poiriers) sont plantées dans le verger, mais seulement sur une partie et comme renouvellement des arbres vieillissants. Cette option peut convenir à un contexte où la concurrence avec d'autres régions productrices est forte, et où les investissements sont compromis. À plus long terme, la production de pommes peut même être mise en péril.

Sapinière en moyenne montagne méditerranéenne*

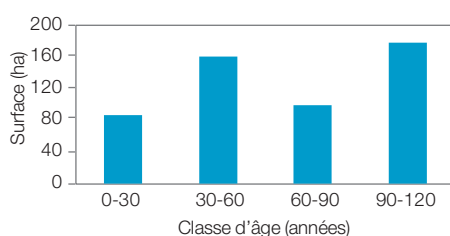
Le cas étudié porte sur une forêt domaniale de 640 hectares située dans le département de l'Aude. Le sapin est l'essence dominante des peuplements de cette forêt sur plus de 72 % de sa surface. Cette forêt ancienne est gérée principalement en futaie régulière avec réensemencement naturel depuis 1839. Depuis 2003, des dépérissements de sapin sont observés sur les stations les moins favorables (versant sud et versant ouest sur sol superficiel). Le volume sur pied actuel est relativement faible du fait d'une exploitation massive par le passé des gros bois et du fait des mortalités et des dépérissements récents. Les enjeux de cette forêt sont d'une part la production de bois d'œuvre et, d'autre part, la protection.

1. Diagnostic de l'unité de gestion forestière et de son environnement proche

■ Caractéristiques de l'unité de gestion forestière

La forêt étudiée fait majoritairement l'objet d'un traitement régulier (54 % de la surface totale) mais la part des peuplements irréguliers (19 %), des peuplements ouverts (12 %) et des taillis (12 %) est non négligeable. La surface importante, la présence d'essences diverses (sapin, hêtre, épicéa, feuillus et résineux divers), ainsi que les peuplements mélangés (sapinière-hêtraie, hêtraie-sapinière, sapinière-pessière, etc.) font apparaître de nombreux types de peuplements imbriqués les uns aux autres par plages plus ou moins vastes (presque tous les types de futaies de sapin et de sapinières-hêtraies sont représentés). Le mélange reste cependant limité et le sapin occupe plus de 70 % de la surface.

Figure 1 : Répartition des surfaces par classe d'âge dans le cas étudié pour les peuplements dont l'âge est connu.



Source : ONF.

* Cette fiche, a été rédigée en avril 2012, par Anne-Sophie Sergent, avec les contributions des experts forestiers du groupe AFClim et d'experts extérieurs : Jean Ladier (ONF), Hendrik Davi (INRA) et Albert Maillat (CPRF).

Futaies de Sapin

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Surface	370 ha	57 % de la surface totale
Origine des peuplements	Issus de la régénération naturelle et de plantations	
Age des peuplements	De 1 à 120 ans	Variable entre les peuplements
Historique de gestion	Gestion en futaie régulière (75 %) ou irrégulière (25 %)	
Itinéraire sylvicole envisagé jusqu'à l'exploitation	Récolte à 90-110 ans pour un diamètre de 55 à 65 cm	

Futaies mélangées de sapin et de hêtre (sapinière-hêtraie ou hêtraie-sapinière)

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Surface	120 ha	19 % de la surface totale soit 120 ha répartis en trois grands types : 20 ha de bois clairs, 71 ha de futaies régulières et 29 ha de futaies irrégulières
Origine des peuplements	Issus de la régénération naturelle	
Age des peuplements	De 30 à 120 ans	Variable entre les peuplements
Historique de gestion	Gestion en futaie régulière ou irrégulière	
Itinéraire sylvicole envisagé jusqu'à l'exploitation	Récolte à 90-110 ans pour un diamètre de 55 à 65 cm pour le sapin et de 35 à 50 cm pour le hêtre	

Taillis de chêne pubescent ou de feuillus divers

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Surface	60 ha	Soit 9 % de la surface totale
Origine des peuplements	Issus de la régénération naturelle	
Age des peuplements	Inconnu	
Historique de gestion	Taillis exploités en coupe rase avec des rotations probablement courtes jusqu'en 1945	
Itinéraire sylvicole envisagé jusqu'à l'exploitation	Taillis non convertibles ou à maintenir pour protection pour 80 % de la surface	

Futaies de cèdre de l'Atlas

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Surface	10 ha	Moins de 2 % de la surface totale
Origine des peuplements	Plantation	
Age des peuplements	De 15 à 30 ans	
Historique de gestion	Futaie régulière	
Itinéraire sylvicole envisagé jusqu'à l'exploitation	Récolte à 80-100 ans pour un diamètre de 35 à 45 cm	

Ne sont détaillés ci-dessus que les types de peuplements principaux, importants en termes de surface, d'enjeux ou d'adaptation.

Les autres types de peuplements présents sont des :
 – futaies d'épicéa commun (10 ha) ;
 – futaies mélangées d'épicéa et de sapin (10 ha) ;

- futaies mélangées de sapin et d'autre feuillus (10 ha) ;
- futaies de hêtre (5 ha) ;
- futaies de pin d'Autriche (2 ha) ;
- sols boisables (8 ha) et non boisables (33 ha).

Atouts	180 ha à régénérer au cours des 30 prochaines années
Contraintes	87 ha déjà régénérés au cours des 15 dernières années. Massif composé à 70 % de sapin, dont une partie connaît des problèmes de dépérissement

Source des tableaux : Plan d'aménagement forestier (ONF).

■ Productions et résultats économiques

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Productivité	3 à 7,6 m ³ /ha et /an	Variable selon les stations
Prix de vente sur pied	2 à 30 €/m ³	30€/m ³ - bois d'œuvre de sapin 11€/m ³ - bois d'industrie de sapin 2€/m ³ - bois de chauffage (hêtre et autres feuillus) Prix moyen de vente dans cette forêt entre 2000 et 2005
Coût annuel	48€/ha et /an	Comprend les travaux sylvicoles pour près de 40 % du coût total (régénération, dégagement, amélioration, etc.), la maintenance du parcellaire, l'entretien des infrastructures (route forestière, accotement, revers d'eau, etc.), la sécurisation des routes et l'entretien du bâti
Recette annuelle	132€/ha et /an	Calculée sur l'ensemble de la forêt
Bénéfice annuel	84 €/ha et /an	Valeur assez basse lorsque que l'on déduit de ce bénéfice les impôts et les frais de gestion
Taux interne de rentabilité	–	Non calculé
Autres revenus non forestiers	1760 €/an	Chasse et vente de venaison (année de référence 2005)
Atouts	Certification PEFC	
Faiblesses	Le maintien du sapin comme essence principale de production dans ce massif suppose qu'il n'y ait pas de problème sanitaire majeur Chute du prix du bois de sapin suite aux dépérissements Risque d'inadéquation entre la demande et l'offre sur le diamètre des bois	

Source : Plan d'aménagement forestier (ONF).

La production de cette forêt est variable entre les stations. Les conditions d'accès limitent parfois l'exploitation des produits forestiers. Les coûts d'entretien et de régénération sont assez élevés au regard des recettes liées à la vente de bois, le bilan net est donc assez bas. Cette situation ne devrait pas s'améliorer dans les années à venir. En effet, les forts volumes de bois dépérissants mis en vente depuis la canicule de 2003 ont tiré les prix du sapin vers le bas, y compris pour les plus belles qualités. Ce phénomène est dû à la faible capacité d'absorption de ces bois par les unités de transformation locales. Cela a induit une ouverture du marché à des acheteurs extérieurs alignés sur les cours nationaux du sapin. À l'échelle de la région, la demande de sapin est tournée vers les bois de qualité de diamètre 40 à 50 cm. L'offre de bois frais, indépendamment des dépérissements, comporte pour les années à venir une proportion importante de bois de diamètre 55 et plus. Il y a donc une inadéquation structurelle entre l'offre et la demande sur cette catégorie de produits, laquelle est amplifiée par la nécessité de mettre en œuvre une sylviculture dynamique dans les jeunes peuplements¹.

1. Source : Directive régionale d'aménagement (ONF).

■ Contexte local

Contexte forestier et éléments paysagers

Le paysage est montagneux, à dominance forestière et pastorale. La forêt occupe en général les versants nord tandis que les versants sud sont occupés par des landes ou des pâturages. Le taux de boisement de 73% dans la sylvoécologie est largement supérieur à la moyenne nationale. La végétation du Pays de Sault est caractérisée par de vastes sapinières, souvent mêlées de hêtre en proportions variables. Les chênes (pubescent, vert et rouvre) sont bien représentés en basse altitude. Ils forment principalement des taillis ou des mélanges de futaies et de taillis assez pauvres. On les trouve aussi en essence accessoire dans la sapinière ou la hêtraie. Une autre particularité de la région est l'existence de boisements naturels de pin sylvestre, dans les zones où les influences méditerranéennes sont les plus nettes. Ils se situent entre la sapinière et la chênaie avec des mélanges de transition².

■ Caractéristiques stationnelles, pédologiques et climatiques

Éléments environnementaux³

Cinq habitats d'intérêt communautaire sont présents dans cette forêt (éboulis calcaires pyrénéens ; végétation chasmophytique des pentes rocheuses ; formations stables à buis des pentes rocheuses calcaires ; forêts de pentes, éboulis, ravins du Tilio-Acerion ; chênaies blanches occidentales). Ces habitats sont répartis de façon localisée sur plusieurs zones du massif forestier et constituent pour la plupart des zones non boisables ou non soumises à une gestion sylvicole de production. La forêt est incluse en grande partie dans une ZNIEFF (zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique) de type II. Cette zone propice à la nidification de nombreux oiseaux est couverte en partie par une ZICO (zone d'intérêt communautaire pour les oiseaux). Il est également à noter la présence d'ifs disséminés dans la forêt.

Bien que la conservation ne soit pas l'objectif prioritaire dans cette forêt, cette dernière présente des intérêts faunistiques et floristiques, mais également paysagers. Ils supposent une gestion forestière appropriée : les coupes trop importantes et les reboisements monospécifiques sont, par exemple, à éviter et un traitement léger et local des peuplements existants est à préférer.

Description stationnelle⁴

Le relief accidenté est composé d'une succession de mamelons élevés, disposés selon un axe est-ouest et ponctués de petites cuvettes d'effondrement. L'exposition et la pente varient très souvent. La pente moyenne est de 26%. Des zones de topographie difficile (fortes pentes, chaos rocheux) sont présentes de façon ponctuelle. L'altitude moyenne est de 950 m et oscille entre 860 et 1 130 m.

La géologie est caractérisée par un modèle karstique avec dolines et réseaux souterrains. Les roches mères sont en majorité des roches sédimentaires (marnes et calcaires). Le réseau hydrographique est faible, voire absent, dans certaines parties de la forêt domaniale, ce qui s'explique par la géologie karstique.

2. Source : IFN.

3. Sources : Plan d'aménagement forestier (ONF) et MNHN.

4. Source : Plan d'aménagement forestier (ONF).

Les sols sur calcaires sont des rendosols (secs et superficiels) et des rendisols (épaisseur du sol variable selon la topographie locale). Sur marnes, les sols rencontrés vont des brunisols aux néoluvisols (souvent profonds et humides).

Les types de station rencontrés sont au nombre de quatre ; on peut distinguer deux groupes :

- les stations sur lesquelles le sapin ne présente pas de signes de dépérissement. Il s’agit des sapinières de basse altitude à réserve en eau moyenne à bonne (63% de la surface de la forêt). Les zones les plus favorables se situent sur les versants nord bien arrosés. Les pentes sont faibles (19% en moyenne). Le sapin ne présente pas de signes de dépérissement sur cette station. Le sol est profond et les sapins y ont une croissance exceptionnelle. La hauteur moyenne des sapins adultes est comprise entre 25 et 35 m. Les plus vigoureux mesurent jusqu’à 39 m. La profondeur du sol, l’exposition et l’altitude concourent à faire de ces stations les zones les plus fertiles de la forêt. Cette station couvre près de 40% de la surface de cette forêt. Les essences adaptées actuellement sont le sapin pectiné, le hêtre et l’épicéa. Les sapinières de basse altitude à réserve en eau moyenne se distinguent des précédentes par une fertilité plus faible due à un sol moins épais et une pierrosité plus importante. On rencontre cette station en mosaïque avec la station précédente, avec des expositions diverses et une pente moyenne de 27%. La profondeur du sol est variable. Cette station couvre 23% de la surface. Le sapin est actuellement considéré comme adapté à cette station, les autres essences actuellement adaptées sont le hêtre, le pin sylvestre, le sapin pectiné, l’épicéa commun, le sapin de Nordmann, l’érable, le tilleul et le merisier ;
- les stations sur lesquelles le sapin est inadapté ou présente des signes de dépérissement suite aux sécheresses de 2003 et 2004 : chênaies pubescentes de plateau calcaire, chênaies pubescentes de versant sur sols peu profonds et sapinières de basse altitude à faible réserve utile (37% de la surface de la forêt). Dans les stations à chênaies pubescentes de plateau calcaire et à chênaies pubescentes de versants sur sols peu profonds, la faible profondeur du sol, associée à une exposition sud et à une pente importante (47% en moyenne) entraîne une disponibilité en eau très faible. Sur les parties les moins fertiles, on rencontre essentiellement des buis accompagnés d’un taillis épars de feuillus divers (chênes pubescents, tilleuls, érables champêtres et quelques chênes verts). Les essences actuellement adaptées sont le chêne pubescent, le cèdre de l’Atlas et le pin noir. Ces stations couvrent 10% de la surface de la forêt. Les sapinières de basse altitude à faible réserve utile se différencient des sapinières de basse altitude décrite en première partie par une fertilité plus faible due à des pentes plus fortes, un sol moins épais et une pierrosité plus importante. Elles sont situées dans les zones les plus rocheuses en exposition principale sud et sur les crêtes. La pente moyenne est de 27%. La profondeur du sol et la réserve en eau sont faibles. Le buis et les blocs rocheux sont abondants. Des mortalités importantes des sapins et de certains épicéas ont été constatées dans ces parcelles. Les essences actuellement adaptées sont le hêtre, le pin sylvestre, le cèdre de l’Atlas, l’érable champêtre, le tilleul, le pin noir et le chêne pubescent. Cette station couvre 20% de la surface de la forêt.

Caractéristiques climatiques

Cette forêt est sous un climat montagnard humide, marqué par deux influences principales : l’influence océanique avec des pluies de printemps, des vents de nord-ouest et des brouillards fréquents, et l’influence méditerranéenne moins marquée du fait de l’altitude. Les températures et les durées d’enneigement présentent des variations marquées selon l’altitude et l’exposition. Des sécheresses exceptionnelles avec des valeurs jamais observées au cours des 25 années précédentes ont eu lieu en 2003, 2004 et 2006.

Climat moyen sur la période 1970-2000 pour la station de Nohedes (Pyrénées-Orientales)

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Pluviométrie annuelle	757 mm	Certainement supérieure dans la zone où se situe la forêt, valeur proche de 1000 mm * Pluviométrie régulièrement répartie dans l’année
Pluviométrie estivale	179 mm	Pas de déficit pluviométrique estival.
Température moyenne annuelle	10,7°C	Valeur faible pour la région, liée à l’altitude
Nombre de jours de gel par an	62 jours	Valeur forte pour la région, liée à l’altitude
Bilan hydrique climatique	+ 20 mm	Bilan hydrique faiblement positif

* Données de la station de Belcaire, non utilisables car non disponibles sur l’ensemble de la période de référence.

Source : Météo-France.

2. Effets du changement climatique sur la forêt

■ Description du changement climatique

Évolution du climat moyen et des événements climatiques extrêmes (canicules, gels intenses)

Les données suivantes sont issues de simulations climatiques mensuelles réalisées spécifiquement pour cet exercice par Météo-France. Elles concernent trois périodes : une période de référence centrée en 1985 allant de 1971 à 2000 (passé récent PR), une deuxième période future centrée en 2035 allant de 2021 à 2050 (futur proche FP) et une troisième période future centrée en 2085 allant de 2071 à 2100 (futur lointain FL). Elles présentent l’évolution future du climat moyen et des événements climatiques extrêmes (canicule, gels intenses).

Évolution future du climat moyen pour la station de Nohedes (Pyrénées-Orientales)

Indicateurs	Valeurs (en évolution)		Remarques
	De PR à FP	De PR à FL	
Température moyenne annuelle	+ 1,8°C	+ 3,7°C	Augmentation importante de la température dès le futur proche et très marquée dans le futur lointain
Nombre de jours de gel / an	- 26 jours	- 38 jours	Diminution importante du nombre de jours de gel dès le futur proche
Précipitations annuelles	- 14 mm	- 88 mm	Pas de réduction significative des précipitations à l’horizon 2035 et une réduction limitée à l’horizon 2085
Précipitations estivales	+ 9 mm	- 38 mm	Pas d’évolution significative des précipitations

Indicateurs	Valeurs (en évolution)		Remarques
Bilan hydrique climatique	- 110 mm	- 389 mm	Réduction très importante du bilan hydrique dès le futur proche et très marquée dans le futur lointain

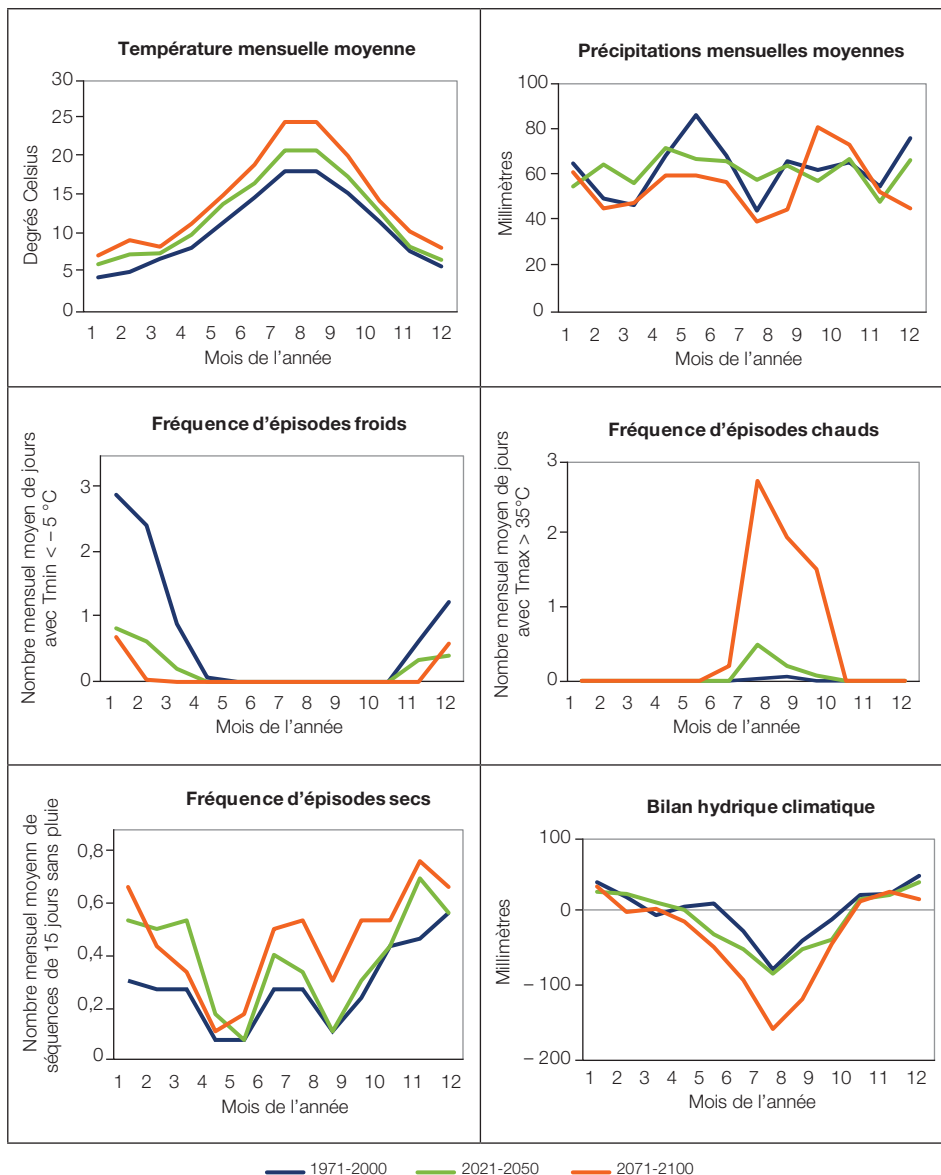
Source : Météo-France.

La comparaison entre les périodes 1971-2001, 2021-2050 et 2071-2100 montre :

- une augmentation des températures moyennes dès l'horizon 2035 et qui s'accroît à l'horizon 2085, notamment pour les mois d'été ;

- une diminution du nombre de jours de gel et de la fréquence des gels intenses ;
- une augmentation importante du nombre de jours où les températures maximales dépassent 35°C et un étalement de la période d'occurrence de ce phénomène ;
- pas de modification significative du régime des précipitations ;
- une dégradation du bilan hydrique pendant toute la saison de végétation, particulièrement marquée d'avril à octobre à l'horizon 2085.

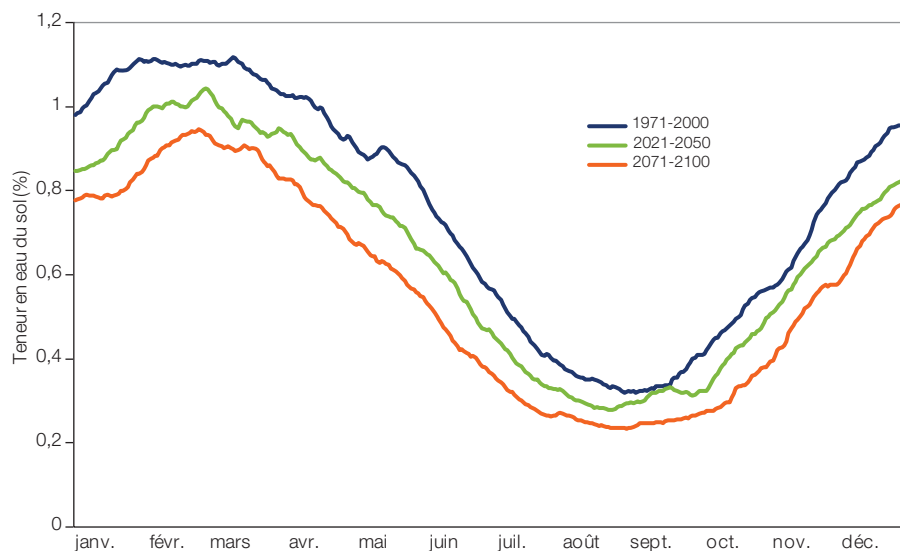
Figure 2 : Évolution mensuelle des principaux indicateurs météorologiques pour les périodes passé récent (1971-2000), futur proche (2021-2050) et futur lointain (2071-2100)



Source : Météo-France.

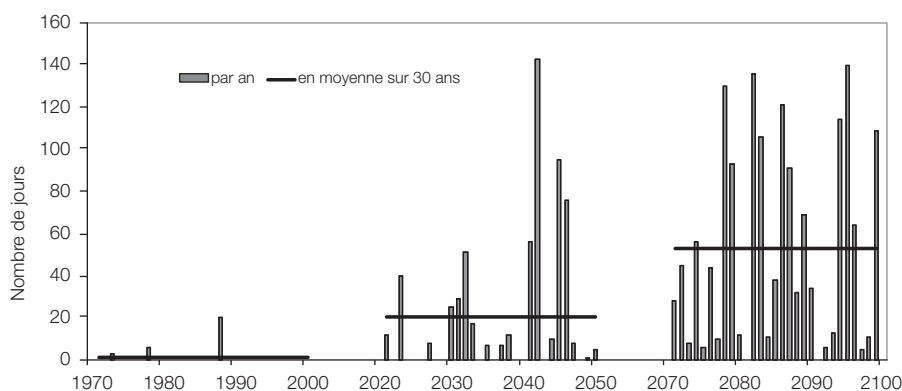
Évolution de la teneur en eau du sol et de l'intensité des sécheresses édaphiques

Figure 3 : Évolution annuelle de la teneur en eau du sol en moyenne sur une période de 30 ans



Source : Météo-France, maille SAFRAN à proximité du cas étudié - Projet CLIMSEC – Modèle ISBA..

Figure 4 : Évolution annuelle de nombre de jours de sécheresse intense pour les trois périodes étudiées



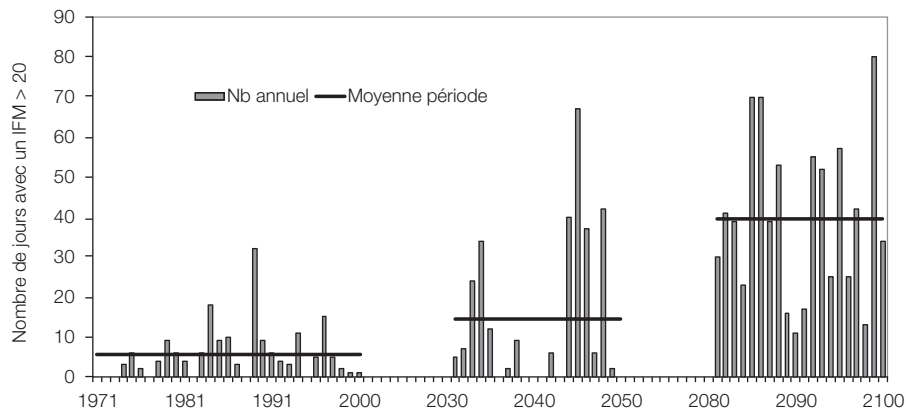
Source : Météo-France, maille SAFRAN à proximité du cas étudié - Projet CLIMSEC – Modèle ISBA.

La comparaison entre les périodes 1971-2000, 2021-2050 et 2071-2100 montre une augmentation du nombre de jours de sécheresse qui passe d'environ 100 jours (1971-2000) à 130 jours (2021-2050) puis à 160 jours (2071-2100). Cet allongement de la période de sécheresse estivale à l'horizon 2085 débutera en moyenne un mois plus tôt dans la saison

(mi-juillet pour 1971-2000 et mi-juin pour 2071-2100). Les résultats montrent également une recharge incomplète en eau du sol au cours de l'hiver à l'horizon 2085 et une augmentation importante de la fréquence et de la durée des sécheresses intenses, dès l'horizon 2035.

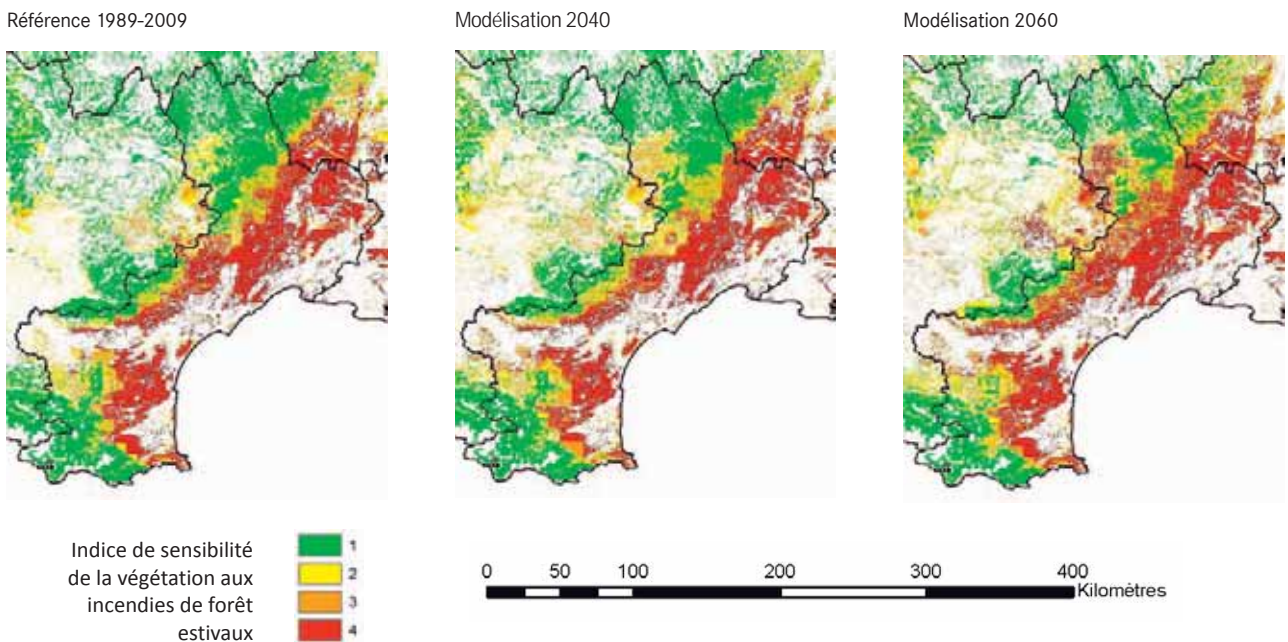
Évolution du risque incendie

Figure 5 : Évolution annuelle de nombre de jours où l'Indice Forêt Météo (IFM) dépasse la valeur seuil de 20 pour les trois périodes étudiées (1971-2000, 2031-2050 et 2081-2100)



Source : Météo-France, maille SAFRAN à proximité du cas étudié.

Figure 6 : Évolution du risque incendie en fonction de la sensibilité des forêts aux feux estivaux et du danger météorologique dans le Languedoc-Roussillon



Sources : Météo-France ; IFN et ONF ; Chatry *et al.*, 2010.

La comparaison entre les périodes 1989-2008, 2031-2050 et 2081-2100 montre :

- une augmentation de la fréquence du danger météorologique se traduisant par une augmentation du risque d'incendie dans l'ensemble du massif dès 2040 et qui s'accroît à l'horizon 2090 ;
- le nombre de jours où l'IFM dépasse 20 est multiplié par 2,5 dans le futur proche et par 7 dans le futur lointain ;
- le nombre de jours où l'IFM dépasse 40 est multiplié par 3 dans le futur proche et dans le futur lointain avec une probabilité d'occurrence stable (une année sur dix) ;

– les cartes de sensibilité au feu de forêt montrent au contraire une certaine stabilité du risque incendie du fait de la présence d'espèces peu sensibles au feu.

En résumé, une augmentation importante du risque climatique d'éclatement des feux est attendue dès 2040. Elle ne devrait pas forcément se traduire par une augmentation des incendies si les essences actuellement en place se maintiennent et si le système de lutte et de prévention reste le même. Ce risque météorologique devra être pris en compte en cas de substitution d'essence.

■ Effets attendus du changement climatique sur le sapin dans le système étudié

Modifications dues au CC sur ↓	Description des modifications attendues et de leurs effets potentiels sur la productivité, la mortalité et la régénération
Confort hydrique / fréquence et Intensité des sécheresses	<p>D'importants dépérissements de sapin ont déjà été observés sur certaines zones de la forêt suite aux sécheresses exceptionnelles de 2003 et 2004. Le sapin est une espèce particulièrement sensible à la sécheresse édaphique (Becker, 1970 ; Becker, 1977 ; Aussenac, 1980) et aux températures élevées (Aussenac, 1987). Les simulations de Météo-France prévoient pour les années qui viennent une augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses. Ce phénomène devrait entraîner une augmentation des dépérissements dès l'horizon 2035. À l'horizon 2085, les sécheresses intenses seront récurrentes et longues (jusqu'à 4 mois). Elles pourraient alors entraîner des dépérissements et des mortalités, même dans les zones les plus favorables de la forêt.</p> <p>Les sécheresses peuvent également affecter la régénération naturelle, soit en limitant l'installation des semis soit en réduisant le nombre de graines viables produites. Des difficultés de régénération sont déjà observées dans la forêt étudiée, ces difficultés pourraient s'accroître sous l'effet du changement climatique.</p> <p>De plus, si le confort hydrique diminue comme annoncé, cela aura pour conséquence un affaiblissement des arbres, les rendant plus sensibles aux attaques de ravageurs et de pathogènes (voir ci-dessous).</p>
Interactions avec les ravageurs et les pathogènes	<p>Les scolytes sont des parasites de faiblesse. Avec le changement climatique, les arbres affaiblis par les sécheresses pourraient être plus sensibles à leurs attaques. De plus, une augmentation modérée de la température pourrait favoriser le développement de ces ravageurs (nombre de génération, date d'envol, etc.) (Nageleisen, 2010).</p> <p>Le gui est un agent d'affaiblissement (Noetzi <i>et al.</i>, 2003) qui affecte les flux hydriques et l'allocation du carbone des arbres (Sala <i>et al.</i>, 2001). Lors des sécheresses, le gui, contrairement au sapin, ne régule pas sa consommation en eau. Il augmente donc le déficit hydrique édaphique auquel l'arbre est soumis.</p> <p>Le fomes et l'armillaire sont deux pathogènes racinaires impliqués dans certains dépérissements de sapin (Oliva et Colinas, 2007). L'armillaire est un agent secondaire qui envahit les arbres affaiblis par les sécheresses. Son développement pourrait donc être favorisé par leur augmentation (Nageleisen, 2010). De même, la colonisation par le fomes pourrait être favorisée pendant les périodes de sécheresse (Desprez-Loustau <i>et al.</i>, 2006).</p> <p><i>Sphaeropsis sapinea</i> est un champignon qui entraîne de nombreux dégâts (rouille sur les pousses, chancre sur les branches et les tiges, maladies des racines, etc.) et aboutit généralement à la mort de l'arbre infecté (Desprez-Loustau <i>et al.</i>, 2006). Sa croissance mycélienne pourrait être accrue par l'augmentation des températures (Nageleisen, 2010).</p>

Modifications dues au CC sur ↓	Description des modifications attendues et de leurs effets potentiels sur la productivité, la mortalité et la régénération
Fréquence des incendies	Les projections climatiques prévoient une augmentation importante du risque climatique d'apparition des incendies mais cette augmentation est en réalité limitée si on prend en compte l'essence présente (Météo-France ; Chatry <i>et al.</i> , 2010). Pour faire face à cette augmentation en cas de substitution d'essences, les systèmes DFCI (Défense de la Forêt contre les Incendies), mis en place dans la région, devront évoluer en conséquence.
Durée de la saison de végétation et risque de gel tardifs et augmentation des températures hivernales	<p>Si on se réfère aux simulations de Météo-France, à l'horizon 2035, le débourrement devrait avancer de 18 jours en moyenne par rapport à la période récente. Cette avancée importante n'entraînera pas d'augmentation du risque de gels tardifs. Aucune occurrence de jours où la température minimale est inférieure à -2°C après la date de débourrement n'est attendue sur la période 2021-2050. À l'horizon 2085, le débourrement devrait, en revanche, avancer de 32 jours en moyenne, le risque de gelées tardives sera identique à la période actuelle, c'est-à-dire équivalent à une année sur dix (modélisations effectuées dans le cadre de cette prospective à partir des données de Météo-France).</p> <p>L'augmentation des températures hivernales annoncée pourrait permettre une augmentation de la photosynthèse pendant cette période (Guehl, 1985). Cependant, les effets potentiels de cette augmentation de la photosynthèse hivernale sur le fonctionnement carboné de l'arbre restent méconnus.</p>
Augmentation de la disponibilité du CO ₂	En absence d'autres facteurs limitant, l'augmentation de la disponibilité atmosphérique en CO ₂ entraîne chez le sapin une augmentation de la croissance et de l'efficacité de l'utilisation de l'eau (Bert <i>et al.</i> , 1997). Des analyses rétrospectives ont mis en évidence ces tendances au cours du xx ^e siècle pour le sapin, notamment dans des régions situées à proximité du cas d'étude (Linares <i>et al.</i> , 2012). Cependant ces auteurs ont également montré que, depuis les années 1980, avec l'augmentation des températures et des sécheresses, les effets de l'augmentation du CO ₂ sur la croissance et l'efficacité de l'utilisation de l'eau étaient diminués voir annulés dans les peuplements dépérisissants.

■ Synthèse : effet du changement climatique sur le système étudié

L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses devrait entraîner une augmentation des dépérissements, pouvant s'étendre aux zones les plus favorables à l'horizon 2085, accentuer les difficultés de régénération naturelle et rendre les arbres plus sensibles aux pathogènes et aux ravageurs. L'augmentation importante du risque climatique d'incendie sera en réalité limitée, si on prend en compte l'essence présente. L'augmentation des températures devrait entraîner une avancée de la date de débourrement sans pour autant se traduire par une augmentation du risque de gelées tardives. L'augmentation attendue de la croissance et de l'efficacité de l'utilisation de l'eau, liée à l'augmentation de la disponibilité en CO₂, pourraient être annulée par l'effet des sécheresses.

3. Options d'adaptation à l'échelle de l'exploitation et de son territoire

■ Option S1 : Maintien du système actuel et mise en place de pratiques sylvicoles adaptatives

Dans cette option, le propriétaire n'envisage que des effets limités du changement climatique, qui n'entraîneraient pas de dépérissements dans les zones où le sapin est considéré aujourd'hui comme adapté. Il décide donc de maintenir un objectif principal de production de bois de sapin sur la majeure partie de sa forêt.

Dans les zones les plus favorables du point de vue hydrique (3/4 de la surface), la vocation principale reste la production de bois d'œuvre de qualité de sapin et de hêtre. L'âge d'exploitabilité est maintenu à 90-110 ans pour un diamètre de 45-50 cm

pour le sapin et de 35-40 pour le hêtre. La gestion en futaie irrégulière est privilégiée avec un mélange d'essences plus important et des densités de tiges à l'hectare plus faibles. La régénération naturelle est recherchée au maximum et complétée par des plantations. Dans les zones où les conditions sont les plus favorables, des plantations de bois précieux (merisiers, etc.) peuvent être réalisées sur de petites surfaces pour diversifier les revenus.

Dans les zones les plus défavorables (1/4 de la surface), le sapin est affecté par des dépérissements massifs. Une substitution d'essence est donc nécessaire, au profit du cèdre de l'Atlas pour la production de bois d'œuvre. Dans un premier temps, la substitution est effectuée dans le cadre d'une régénération artificielle, les peuplements déjà en place étant trop jeunes. La gestion du mélange est réalisée lors des travaux de nettoyage et de dépressage (75% de cèdres pour 25% de feuillus et résineux divers tels que hêtres, épicéas, sapins, etc.).

À ces deux zones, il convient d'ajouter des secteurs où l'objectif ne sera pas la production de bois d'œuvre : taillis de feuillus divers et îlots de vieillissement maintenus au titre de la biodiversité, sur 60 ha environ au total.

Cette stratégie ne permet pas la substitution complète des peuplements dépérissants dans un futur proche, faute de moyens permettant une substitution importante en cèdre (coût élevé de l'ordre de 7 000 €/ha) et/ou une régénération artificielle des peuplements de sapin dont la survie est inférieure à 30 ans et pour lesquels la régénération naturelle n'est pas acquise.

■ Option S2 : Diversification et mélange d'essences face aux dépérissements et aux difficultés de régénération

Conscient de l'existence d'un risque fort de dépérissement du sapin dès le futur proche, le propriétaire choisit de diversifier le plus tôt possible ses objectifs, mais en limitant les coûts d'investissement. Seules les parcelles les plus favorables restent à vocation de production de bois d'œuvre. Il choisit de diversifier autant que possible les essences présentes.

Les conditions climatiques (sécheresse) ainsi que les difficultés de régénération ne permettent plus le maintien du sapin de façon homogène dans le massif. Le sapin reste donc présent, mais de façon disséminée et localisée dans les zones les moins vulnérables où la réserve utile du sol permet d'atténuer l'intensité des déficits hydriques. La substitution importante par une autre essence comme le cèdre est difficile à envisager du fait de la pression des cervidés sur le massif et des coûts liés aux plantations. La gestion est donc effectuée de manière irrégulière et laisse une large place au mélange avec des essences feuillues déjà présentes (hêtre, chêne pubescent, tilleul, érable). Des îlots limités de chêne vert, de pin d'Alep et de cèdre sont introduits afin d'accélérer la migration naturelle depuis les zones plus basses en altitude ou plus méridionales. De même, sous réserve d'assouplissement de la législation sur l'utilisation des régions de provenance, le sapin de Nordmann et les sapins méditerranéens pourraient être introduits afin que leur hybridation avec le sapin pectiné permette un maintien du sapin. Ces îlots ne constitueront pas des peuplements exploitables dans un futur proche mais permettront à plus long terme de maintenir un couvert boisé et d'appliquer une sylviculture irrégulière et mélangée dans laquelle une production de bois pourra être envisagée.

Les feuillus divers (chêne pubescent et tilleul principalement), naturellement adaptés aux conditions stationnelles les moins bonnes, se développent et couvrent une part importante du massif. À l'heure actuelle, ces essences ne permettent pas d'envisager de production de bois d'œuvre (faible qualité des bois) ni même de bois de chauffage (terrains trop accidentés et pentes trop fortes pour ce type de valorisation). Cependant leur développement dans des zones plus accessibles et l'augmentation de la demande en bois-énergie et en éco-construction pourraient permettre de lever ces contraintes.

■ Option S3 : Abandon du sapin et substitution par des sapins méditerranéens et du cèdre

Le propriétaire est confronté à des conditions climatiques (sécheresses édaphiques, atmosphériques et températures élevées) et des difficultés de régénération qui ne permettent plus le maintien du sapin, même dans les zones les plus favorables. D'autre part, les priorités données aux objectifs d'atténuation du changement climatique et de maintien du paysage conduisent à essayer de maintenir une production de bois sur une grande partie du massif. Le propriétaire ne souhaite pas prendre de risque, même dans les zones les plus favorables et investit pour maintenir une production de bois.

L'assouplissement de la législation sur l'utilisation des régions de provenance permet au propriétaire de réaliser des plantations de sapin de Nordmann et de sapins méditerranéens. Ces plantations de sapins plus adaptées à la sécheresse sont permises par une diminution des contraintes liées aux gels. Elles viennent compléter les plantations de cèdre qui sont réalisées dans les zones où il est déjà présent. Afin d'assurer la réussite de ces plantations qui représentent un investissement important, le propriétaire cherche à réduire la pression du gibier et sollicite une révision du plan de chasse dans le massif. Les peuplements sont traités en futaie régulière dont l'âge d'exploitabilité sera fixé en fonction de la vitesse de croissance et de la demande du marché.

Dans les zones de trop fortes contraintes climatiques (versant sud, crêtes) ou d'exploitation (forte pentes), la gestion productive de la forêt est abandonnée. Ces zones forment des îlots de sénescence favorables à la biodiversité.

Ovin viande dans les Hautes-Pyrénées *

1. Diagnostic de l'exploitation et de son environnement proche

■ Caractéristiques de l'exploitation

Indicateurs	Valeurs	Remarques
SAU SFP	57 ha 50 ha (prairies)	7 ha de céréales autoconsommées prairies temporaires 10 ha prairies permanentes 40 ha Pâture + fauche (2 coupes si possible)
Troupeau	400 brebis	Productivité faible (0,84 agneaux/brebis *)
Transhumance	Pyrénées	Ressource alimentaire estivale
Productions	Agneaux	Label rouge - Agneaux des Pyrénées Export
UTA	1	
Parc matériel	Propriété et CUMA	Entreprise (récolte céréales)
Bâtiments	Bergeries (400 m ² + 200 m ²) Hangar et cellule	
Travail	Pointe hivernale Période estivale	Pénibilité diminuée par un bâtiment fonctionnel Recours à un berger
Atouts	Transhumance Gestion collective (AFP **) Bâtiment fonctionnel	Ressource non limitée – Permet de libérer des surfaces et faire des stocks hivernaux Permet l'augmentation de la taille du troupeau Conduite du système à 1 personne
Contraintes	Transhumance	Bonne maîtrise de la reproduction au printemps (impossible de désaisonner) Lutte tardive (i. e. mise à la reproduction tardive) (productivité faible) Frais (emplois-berger, pertes, transport)
	Situation foncière (hors estives) Zone à faible potentiel	Morcellement, possibilités limitées d'équipement (clôtures) et d'aménagements Rendements fourragers et céréaliers faibles (forte dépendance à l'alimentation en concentrés)

* Productivité numérique exprimée en nombre d'agneaux produits (nés – morts) par brebis (brebis moyenne présente = nombre de journées de présence de brebis/365).

** AFP – Association foncière pastorale : Afin de rationaliser l'espace pastoral, des structures juridiques ont été inventées pour une gestion collective du foncier, longtemps source de conflits ou de blocages. Ainsi, en 1972, une loi a autorisé les propriétaires de terrains situés principalement en montagne, à gérer en commun (à condition que la majorité d'entre eux soit d'accord) leurs terres au sein d'une association foncière pastorale.

Source : Réseaux d'élevage (Chambres agriculture / IDELE), cas type « Système spécialisé transhumant – Ovins viande », 2011.

Dans ces systèmes, la possibilité d'accéder aux estives est à la fois un atout et une contrainte :

- un atout (voire une nécessité) pour accéder à une ressource alimentaire quasi illimitée permettant d'augmenter la taille des troupeaux et d'assurer une relative stabilité économique (relative car plus de la moitié des produits sont des aides publiques ; – Cf. tableau 1.2 Ateliers de production et résultats économiques). D'autre part, la montée en estive permet de libérer les parcelles proches du siège d'exploitation (en coteaux ou en plaine) et de constituer ou de reconstituer les stocks hivernaux de fourrages ;
- une contrainte calendaire car la montée en estive s'effectue toujours à la même période (pour des raisons agro-climatiques). Cela nécessite une gestion des lots (lutte de printemps, i. e. mise à la reproduction de printemps) calée sur cet impératif et empêche d'intervenir sur le troupeau pendant les mois d'estive (rattrapage d'insémination, mises bas, etc.).

Les animaux sont montés en estive fin mai début juin, après la mise à la reproduction, et redescendent de manière échelonnée de fin août au 25 septembre (avant la mise bas). Les agneaux qui naissent les premiers sont vendus avant la montée en estive, tandis que ceux qui naissent tard montent en estive et sont vendus au retour, en tant que brouards.

Au retour de l'estive, les brebis pâturent en plaine (prairies du siège) jusqu'à Noël. L'hiver, elles sortent autant de fois que possible et consomment les stocks de fourrages. Au printemps, elles font le tour de tous les prés de fauche en plaine (déprimage), puis, avant la montée en estive, vont (sans bail, sauf exception) sur les « zones intermédiaires ». Ces zones, comprises entre les fonds de vallée et l'étage alpin, sont en situation de déprise agricole (pressions exercées par le tourisme ou le boisement).

La ressource fourragère est donc principalement conditionnée par l'accès aux parcelles et les rendements. L'accès aux parcelles en plaine ou coteaux est rendu difficile par le morcellement, la fermeture de ces milieux en déprise et l'accès au foncier rare et cher en vallée. L'accès aux estives est principalement fonction des conditions météorologiques (neige, température minimale pour la pousse de l'herbe). L'optimisation et la gestion de la pousse de l'herbe en plaine ou en coteaux sont une question fondamentale sur ces terres à faible potentiel.

* Cette fiche, rédigée en mars 2012, est le résultat des contributions de Sylvain Doublet, Jean-Christophe Moreau, Fabienne Portet, Rémi Canellas (Conseil Général Haute Garonne), Carole Jousseins (Institut de l'élevage), Philippe Lanne (Chambre d'agriculture des Hautes-Pyrénées), Jean-Michel Mouret (Maison de l'élevage) et Emmanuel Trocmé (Chambre d'agriculture de l'Ariège).

■ Ateliers de production et résultats économiques¹

Indicateurs	Valeurs	Remarques
Produit total : 60 000 €		
Viande ovine	40 % du produit total	dont 70 % agneaux lourds label
Cultures	5 %	Autoconsommation
Aides animales	15 %	Aides à la brebis
Autres aides	40 %	dont ICHN+MAE (50 %) et DPU (50 %)
Charges total : 40 000 €		
Troupeau	30 %	Alimentation + frais d'élevage (IA)
Cultures	10 %	Fourrages (2/3) et céréales (1/3)
Charges de structures	40 %	Mécanisation (1/4), MSA
Amortissements	20 %	
EBE : 30 000 €		
Revenu disponible	25 000 €/an	dont annuité 5 000 €
Marge ovine	60 €/brebis	Résultat > moyenne Exploitation en vitesse de croisière
Contrainte	Dépendance au prix de l'agneau Dépendance aux aides	55 % du produit total

Source : Réseaux d'élevage (Chambres agriculture / IDELE), cas type « Système spécialisé transhumant – Ovins viande », 2011.

Ce type d'exploitation est fortement dépendant de la politique agricole car les aides du premier et du deuxième piliers représentent plus de la moitié (55 %) du produit total. En outre, le prix de l'agneau, très variable en fonction du contexte international, impacte fortement les ventes d'agneaux sous label qui représentent 40 % du produit.

■ Contexte local

L'agriculture

En 2010, le nombre d'exploitations agricoles atteignait 4 600 en Hautes-Pyrénées. Parmi les 452 052 hectares de surface totale que compte le département, la surface agricole utile (SAU) représente un peu moins de la moitié de cette surface totale, soit 221 775 hectares (hors estives). L'agriculture est le premier aménageur de l'espace Haut-Pyrénéen. Les exploitants sont, pour près de la moitié, propriétaires de la SAU.

Le pastoralisme en secteur de montagne (entre 500 et 3000 mètres d'altitude), permet de compenser le manque de surfaces fourragères au niveau des exploitations. Cette zone de pâturage représente environ 15 000 hectares (non-comptabilisée dans la SAU des exploitations).

Il y a plusieurs zones de productions dans le département :

- les zones de piémont et de montagne, qui représentent plus de la moitié des surfaces du département (120 000 ha d'estive), sont principalement herbagères. Elles permettent de nourrir plus de la moitié des effectifs en élevage bovin et ovin-viande du département. La fréquentation touristique y est importante aussi bien l'été que l'hiver ;
- les zones de plaine et de coteaux sont plutôt céréalières (majoritairement du maïs irrigué, pour plus de 40 % des surfaces en plaine, pour l'alimentation des troupeaux laitiers, à viande, hors sol et pour le maïs grain).

L'élevage constitue l'activité dominante de l'agriculture du département. Les productions bovine et ovine à viande (systèmes naisseurs) sont majoritaires et représentent 25 % de la production agricole finale du département. Ces exploitations sont principalement installées dans les secteurs de coteaux et montagne (45 % de la production agricole finale de ces secteurs)².

La production ovine

Le département des Hautes-Pyrénées recense 780 éleveurs ovins pour un cheptel de plus de 78 000 brebis. Près de 80 % des exploitations sont situés en zone de montagne. Dans ces secteurs difficiles, les ovins constituent souvent l'unique production agricole des exploitations. Des démarches de qualité ont été mises en place : le Label Rouge « Sélection des bergers » et l'AOC « Barèges Gavarnie ». Outre la fonction de production, l'élevage ovin occupe un rôle central dans d'aménagement du territoire³ :

- la concentration des élevages dans des zones difficiles (exploitations de montagne, valorisation des estives les plus difficiles) ;
- la capacité à valoriser et entretenir les zones intermédiaires (systèmes d'élevages extensifs basés sur le suivi de la pousse de l'herbe) ;
- la complémentarité avec la production bovine pour une meilleure valorisation des prairies de fond de vallée et des surfaces d'estive.

Éléments paysagers et agro-environnementaux du territoire

Du Nord vers le Sud (du piémont à la haute montagne), la Bigorre est constituée :

- de vastes zones planes ou de pente faible (rive droite des rivières gasconnes au nord du plateau de Lannemezan), développées à partir des matériaux acides de la fin du tertiaire et du début du quaternaire ;
- d'un ensemble de coteaux accidentés marqués par des dépôts molassiques non calcaires (argileux ou argilo-caillouteux issus de l'érosion des Pyrénées) et découpés par un réseau hydrographique dense ;
- d'une zone de moyenne et haute-montagne (plateaux sommitaux, lignes de crêtes, versants à pentes souvent fortes) découpée en 3 étages :
 - l'étage collinéen (jusqu'à 1 000 m) : correspond aux versants des grandes vallées, il est naturellement boisé avec des espèces de climat tempéré. C'est l'étage le plus utilisé et modifié par l'homme. Il abrite la plupart des villages et la forêt a été défrichée sur les parties les moins en pente, constituant alors un paysage de bocage avec des prairies (pâturages et prairies de fauche, rares cultures). En bordure de forêt, ces zones sont souvent en déprise et retournent à la friche ;
 - l'étage montagnard se situe entre 1000 et 1700 m, occupé par de la forêt (hêtraie puis sapinière) ;
 - l'étage subalpin se situe entre 1700 et 2200 m. Il est composé d'une végétation ligneuse basse et d'une pelouse de graminées, la partie supérieure (> 1900 m) étant dépourvue d'arbre et ayant une végétation ligneuse basse à base de rhododendrons.

1. Données 2009.

2. Source : Chambre d'agriculture des Hautes-Pyrénées.

3. Source : Chambre d'agriculture des Hautes-Pyrénées.

Les fermes de la filière « ovin-viande » dans le département des Hautes-Pyrénées utilisent deux types de milieux⁴ :

- le siège d'exploitation est situé dans les coteaux et/ou les piémonts pyrénéens à environ 450 m d'altitude (pour le cas type considéré : la petite région agricole (PRA) des « Coteaux de Bigorre ») ;
- les estives (pelouses de graminées) situées en moyenne et haute montagne de 1200 à plus de 2200 m (altitude moyenne 1800 m) (pour le cas type considéré : la PRA « montagne de Bigorre »).

Sols

Les sols sont très hétérogènes avec des potentiels allant de moyens à faibles du Nord au Sud. Dans les plaines, les sols dominants sont limoneux (sensibles à la battance), acides, chimiquement pauvres, avec des réserves utiles faibles à moyennes et des risques d'hydromorphie. Dans les zones de coteaux (transition plaine – montagne), les sols issus de l'érosion des Pyrénées ont un potentiel agronomique moyen à faible (sols bruns caillouteux superficiels sur argiles et sols bruns limono-argileux ou argilo-limoneux superficiels sur argile à faible profondeur), avec des pentes parfois fortes. Les sols sont acides, chimiquement pauvres, compacts, la réserve hydrique est faible à moyenne (< 100 mm). Le drainage y est bon. En montagne :

- montagnes pyrénéennes calcaires : sols humifères (20 à 60 % de matière organique), peu épais (très variable, argilo-limono-sableux) ;
- montagnes pyrénéennes schisteuses :
 - haute montagne : sols peu épais (avec affleurements rocheux), acides et organiques ;
 - sous-pelouse : humus moins acides, limono-sableux, très poreux, plus ou moins profonds selon la pente.

Caractéristiques des sols des Hautes-Pyrénées

Zones	Valeurs	Remarques
Plaines	Potentiel moyen à faible	Limons battants à faible réserve utile Fertilité chimique faible (acide)
Coteaux	Potentiel faible	Argilo-limoneux acides Faible profondeur et pentes localement fortes Faible réserve hydrique (< 100 mm)
Montagne		
Haute montagne	Potentiel très faible	Affleurements rocheux – sols organiques
Pelouse	Potentiel faible à très faible	Pentes et profondeurs variables Sols acides Couverture neigeuse tardive Températures basses

Source : Chambre d'agriculture Hautes-Pyrénées.

Climat (Bagnère de Bigorre, 500m)

Le climat de cette station est de type océanique avec une légère transition vers le type méditerranéen. Il est relativement épargné par les perturbations d'Ouest-Sud-Ouest qui se déchargent avant sur la haute chaîne frontalière. En revanche, la zone est intensément exposée aux perturbations Nord-Nord-Ouest qui viennent heurter le relief. Cet effet de barrière se fait ressentir jusqu'au niveau du piémont, aussi les printemps, les automnes et les hivers sont frais et pluvieux ; les étés, souvent chauds, sont particulièrement orageux :

- précipitations moyennes : 1 150 mm (120 mm/mois au printemps, 70 mm/mois en été) et 142 jours de pluie

par an ;

- température moyenne : 12°C (5°C en janvier – 20°C en juillet) ;
- gel : 45 jours par an ;
- forte chaleur : 14 jours par an (> 30°C) ;
- ensoleillement : 1 900 h/an ;
- neige : 13 jours/an ;
- orage : 16 jours/an ;
- grêle : < 2 jours/an.

La ressource en eau du département des Hautes-Pyrénées

D'une manière générale, le bassin Adour-Garonne connaît régulièrement des étiages sévères, résultant d'un déséquilibre entre les prélèvements et les ressources disponibles. Les perspectives de réchauffement climatique et la tendance observée d'une augmentation de la durée des périodes de sécheresse (voir 2.1) laissent penser que le maintien d'un débit suffisant dans les cours d'eau sera une des clefs pour atteindre l'objectif de bon état des eaux⁵.

Les rivières et les ruisseaux du département présentent des fluctuations saisonnières de débit bien marquées, caractéristiques du milieu montagnard. Les régimes sont principalement de composante nivale, avec une composante pluviale secondaire. Les hautes eaux se caractérisent par un double sommet. Le premier, très léger, en novembre correspondant aux pluies d'automne. Le second se déroule au printemps, de mars à juin inclus (avec un maximum très net en mai) et correspond à la fonte des neiges. De décembre à février, le débit baisse légèrement, une part plus importante des précipitations étant retenue dans la montagne, sous forme de neige. En été, les étiages sont importants. Les régimes de hautes eaux au printemps étant liés à la présence de neige, les projections sur les niveaux d'enneigement dans les Pyrénées centrales (horizons 2050 à 2100) sont primordiales pour déterminer la capacité d'utiliser cette ressource pour l'irrigation (par exemple pour assurer la production de foin et de grain avec une irrigation d'appoint).

La particularité de cette partie des Pyrénées est de posséder une grande capacité de stockage d'eau (réservoirs hydro-électriques) en haute montagne : le déstockage du lac de Gréziolles peut permettre de soutenir les niveaux de l'Adour, alors que les réserves en haute montagne (rivière Neste) soutiennent la Garonne. Les accords de déstockage depuis les réserves hydroélectriques d'EDF permettent de mobiliser annuellement près de 160 millions de m³ pour soutenir les débits d'étiage des cours d'eau du bassin Adour-Garonne (sur un volume total stocké de près de 3 milliards de m³). Le programme de mesure PDM – UHR Rivières de Gascogne du Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux Adour-Garonne prévoit d'augmenter la ressource en eau disponible à l'étiage sur les bassins déficitaires par la construction de retenues supplémentaires.

4. Source : Chambre d'agriculture des Hautes-Pyrénées.

5. Source : SDAGE Adour-Garonne.

2. Effets du changement climatique sur le système d'exploitation

■ Description du changement climatique et des impacts attendus

Les données suivantes sont issues de simulations climatiques mensuelles réalisées spécifiquement pour cet exercice à partir de données Météo-France. Elles concernent d'une part une période de référence centrée en 1985 allant de 1971 à 2000. D'autre part, elles concernent une seconde période future centrée en 2050 (l'horizon temporel de la présente étude prospective) allant de 2036 à 2065.

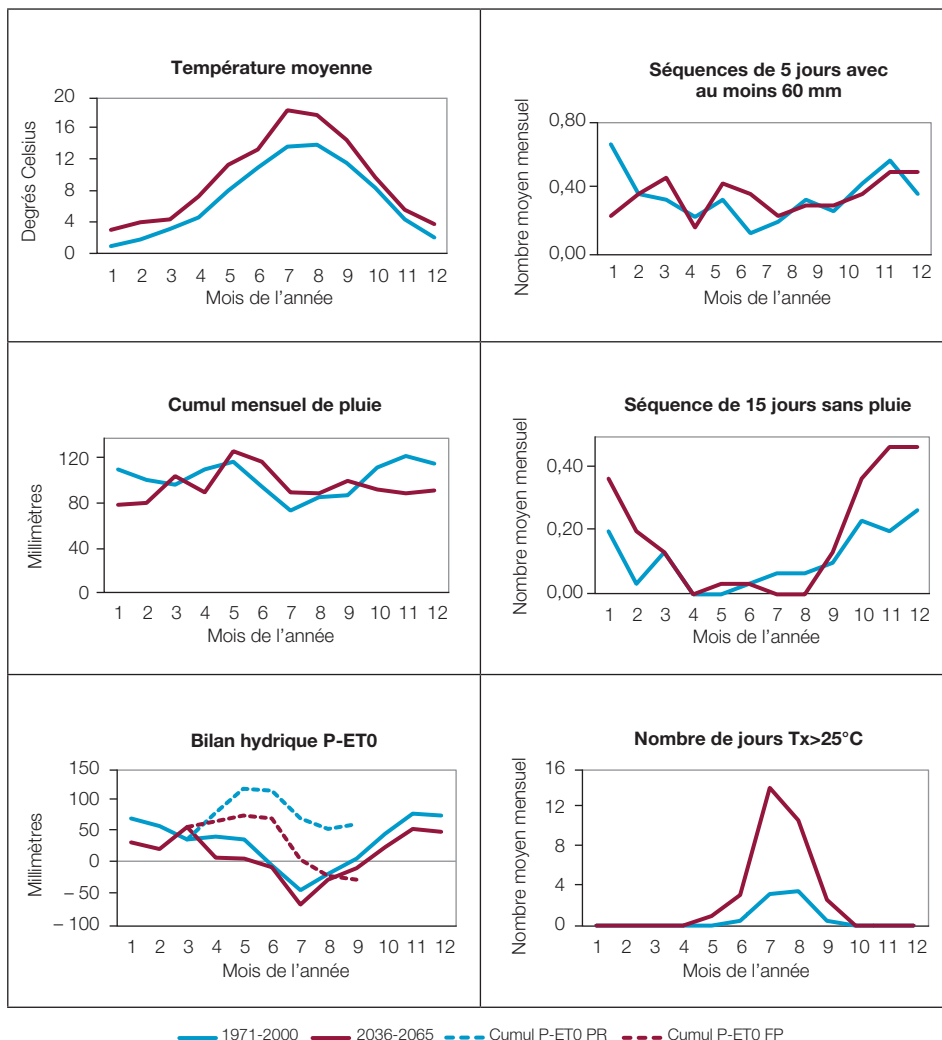
Dans cette étude de cas, deux stations météorologiques ont été retenues : Campan, située à 1200 m d'altitude pour les

prairies en estives et Tournay située à 265 m pour le siège d'exploitation.

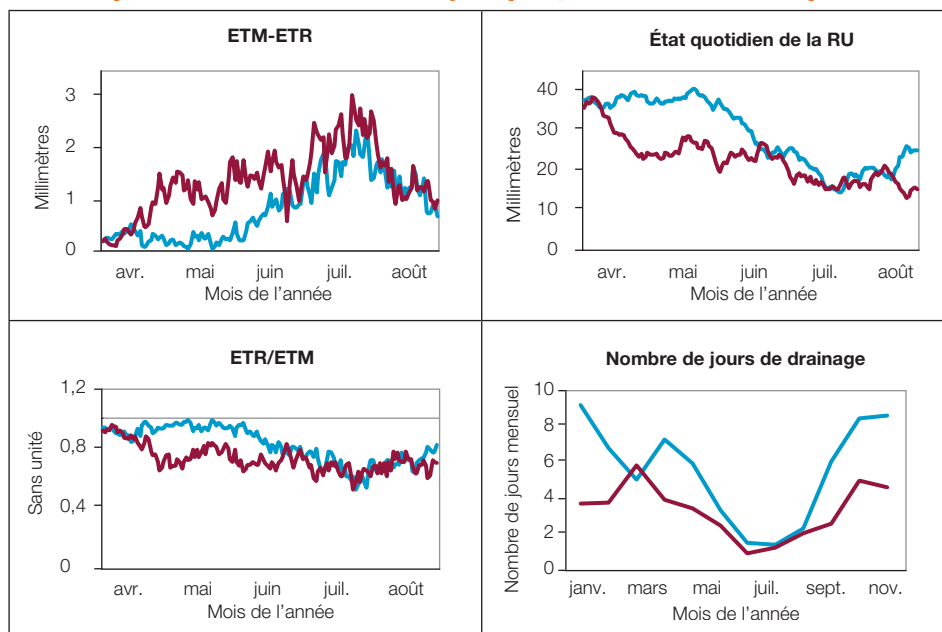
La comparaison entre les périodes 1971-2001 et 2036-2065 à Campan (estives) montre :

- une augmentation des températures marquée sur la période estivale ;
- un cumul de pluie dégradé entre mars et mai puis amélioré entre mai et octobre ;
- un bilan hydrique qui se dégrade peu en été ;
- un nombre de jours échaudants très important de juin à septembre ;
- une augmentation importante du nombre de séquences de 15 jours sans pluie en hiver (novembre à février) ;
- des séquences de cinq jours avec des abats d'eau importants (> 60 mm) en hausse en mai et juin (orages d'été).

Station de Campan (estives)



Herbe – Principaux indicateurs de l'état hydrique (estives, station Campan, RU : 50 mm)

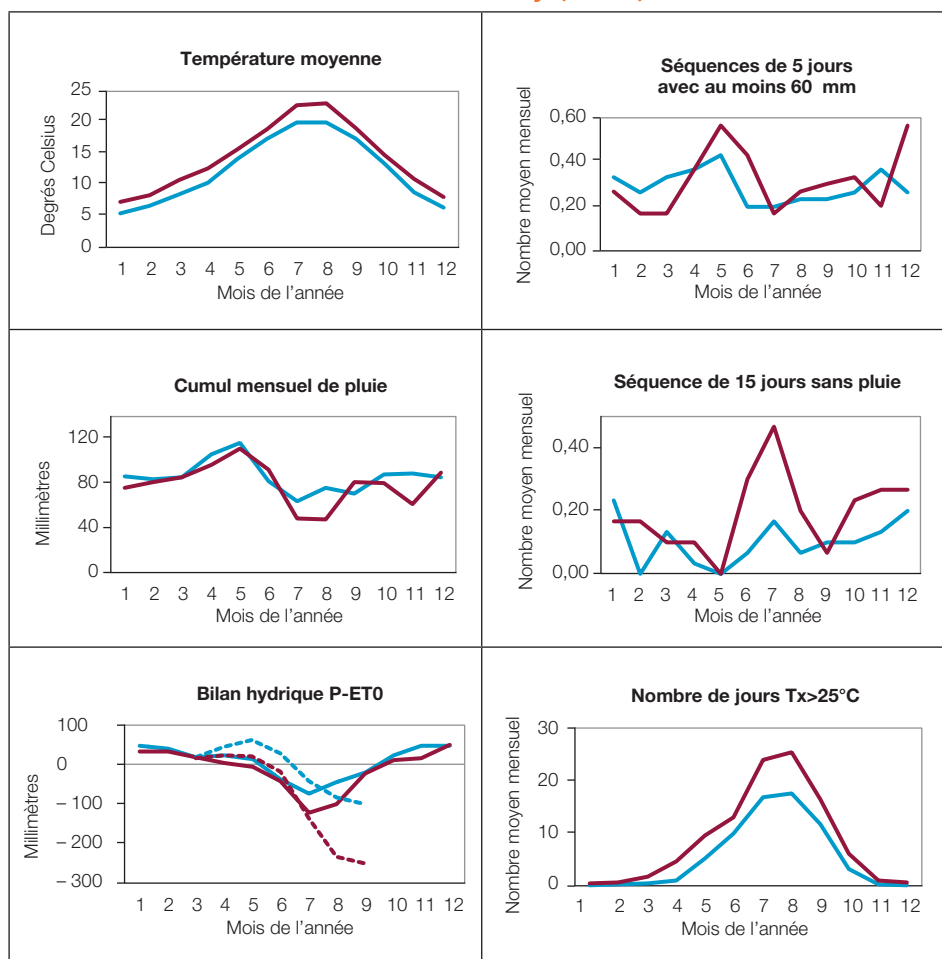


— 1971-2000 — 2036-2065

En prenant comme modèle une prairie (herbe) et un sol dont la réserve utile est de 50 mm, on constate dans les estives :

- un confort hydrique (ETR/ETM) de l'herbe dégradé d'avril à juin ;
- des besoins en eau (ETM-ETR) l'été très peu augmentés ;
- un état de la réserve hydrique qui se dégrade d'avril à juin et en septembre ;
- une restitution au milieu (nombre de jours de drainage) qui diminue de 38% (62 jours entre 1971 et 2000 et 38 jours entre 2036 et 2065).

Station de Tournay (vallée)



— 1971-2000 — 2036-2065 - - - Cumul P-ET0 PR - - - Cumul P-ET0 FP

La comparaison entre les périodes 1971-2001 et 2036-2065 à Tournay (vallée) montre :

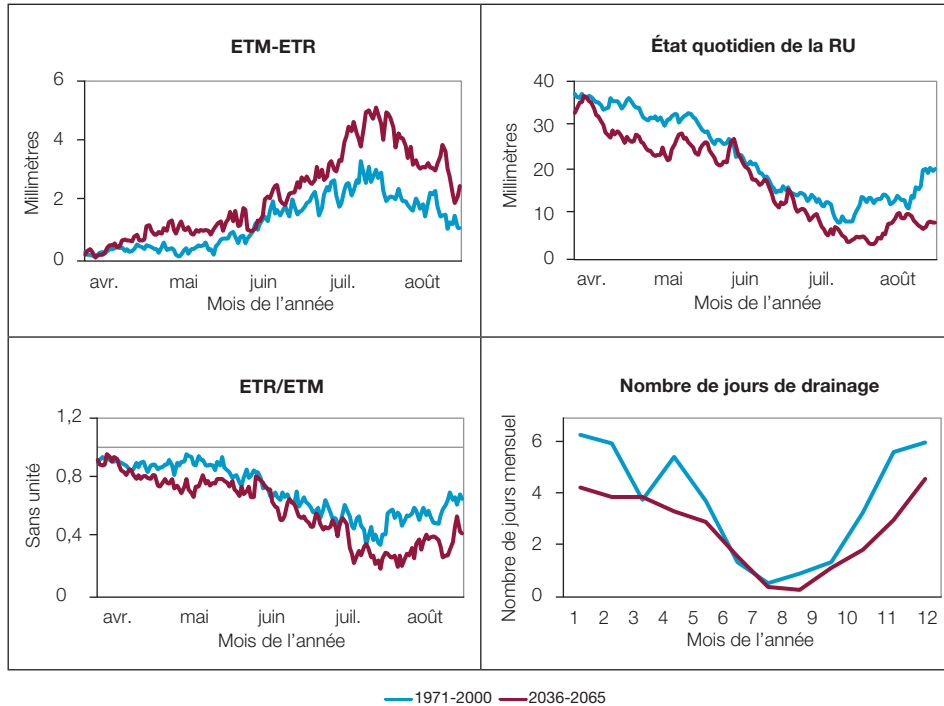
- une augmentation des températures régulière sur toute l'année ;
- un cumul de pluie très dégradé toute l'année ;
- un bilan hydrique amélioré ;
- un nombre de jours échaudants plus important de juin à septembre ;
- une augmentation importante du nombre de séquences de 15 jours sans pluie entre mai et septembre ;

- des séquences de 5 jours avec des abats d'eau importants (> 60 mm) en hausse en mai et juin.

En prenant comme modèle une prairie (herbe) et un sol dont la réserve utile est de 50 mm, on constate dans la vallée :

- un confort hydrique (ETR/ETM) de l'herbe dégradé à partir d'avril avec un ratio inférieur à 0,4 à partir de juillet ;
- un état de la réserve hydrique qui se dégrade à partir d'avril ;
- une restitution au milieu (nombre de jours de drainage) qui diminue de 27% (44 jours entre 1971 et 2000 et 32 jours entre 2036 et 2065).

Herbe - principaux indicateurs de l'état hydrique (estives, station Tournay, RU : 50 mm)



■ Effets attendus du changement climatique sur les cultures du système étudié

Effets du CC sur ↓	Description
Conditions de semis, récolte	Piémont : augmentation de la biomasse disponible au printemps, à récolter en un temps plus court et plus tôt, mais sans dégradation des conditions d'accès à la ressource. Deuxième coupes plus aisées, mais aussi plus aléatoires. Des possibilités de pâturage hivernal encore meilleures, mais restant aléatoires. (Felten <i>et al.</i> , 2010 et ACTA-MIRES, 2009).
Rendements	Piémont : la production de biomasse serait peu modifiée (voire légèrement augmentée), mais avec une saisonnalité accentuée. Montagne : production à la hausse (température supérieure, pluviométrie au même niveau). (Felten <i>et al.</i> , 2010 et ACTA-MIRES, 2009)
Qualité des récoltes	Mêmes conditions qu'actuellement : les prairies de piémont subissent une alternance de pâture et de fauche favorable à leur maintien en état.
Bioagresseurs	On signale dans le massif Pyrénéen de plus en plus de ravages liés aux campagnols. Il est difficile de relier cela au changement climatique, mais c'est concomitant.
Grandes chaleurs (bâtiments)	Au moment des canicules en plaine, les animaux sont en altitude, donc préservés.

■ Synthèse : effet du changement climatique sur le système d'exploitation

A dire d'experts, le changement climatique devrait globalement conforter ce système associant ressources de vallées et d'estives, principalement en lien avec la croissance de l'herbe en été dans la vallée, les estives et les zones intermédiaires. En revanche, le changement climatique entraînerait une perte de production de fourrage, donc une baisse des stocks en hiver. Le pâturage hivernal en vallée, déjà pratiqué, deviendrait plus répandu. Par ailleurs, des opportunités nouvelles s'ouvriraient sur les estives pyrénéennes qui ne sont actuellement pas saturées d'animaux et où l'herbe continuera de pousser sous le climat de 2050. On peut donc imaginer d'allonger la durée de l'estive, dans les limites de la durée de gestation des brebis.

Il faut également noter que l'impact du changement climatique sur l'exploitation pourrait être indirect, *via* l'augmentation du coût de l'alimentation en céréales.

Enfin, il faut souligner la difficulté à analyser les effets du changement climatique dans les zones de montagne, dont les caractéristiques géographiques nécessitent des données météorologiques à une échelle plus fine que ce que les modèles climatiques permettent.

3. Options d'adaptation à l'échelle de l'exploitation et de son territoire

Si le changement climatique semble favorable au système ovins transhumant des Pyrénées centrales, l'avenir de ce type d'élevage est plus fortement lié à d'autres facteurs que le climat, dont voici une liste :

- évolution de la politique de la montagne ;
- tendance à la simplification des pratiques d'élevage et du travail ;
- baisse des exigences en matière de prévention sanitaire et possible avancée des maladies, notamment les maladies vectorielles sur les estives, zones de rencontre entre animaux français et espagnols ;
- prédation (ours, corbeaux, retour du loup).

■ Option 01 : Mieux valoriser les estives par la maîtrise accrue de la reproduction

Pour valoriser au maximum la bonne croissance de l'herbe en estive liée au réchauffement, l'exploitant peut choisir d'allonger la durée d'estive : montée en pâturage plus précoce et descente plus tardive. Cela nécessite une technicité accrue concernant la reproduction : mise en place de deux périodes de mise bas décalées de six semaines, pose d'éponges, etc.

S'il y a un accroissement des effectifs, cette option passerait aussi par l'achat de foin ou d'« herbe sur pied » en vallée pour constituer des stocks nécessaires. Cela peut passer par une reconversion des céréales en prairies dans les zones intermédiaires.

Certains éleveurs « pionniers » pratiquent déjà le décalage de la reproduction, mais actuellement, le travail supplémentaire limite la diffusion de cette pratique. La mise en œuvre de cette option suppose donc un appoint en main-d'œuvre *via* des groupements d'employeurs ruraux, la mise en place d'AFP avec pose de clôtures, donc une politique agricole volontariste.

Le risque d'invasion de campagnols terrestres en lien avec la conversion des zones de céréales en prairies est à considérer.

■ Option 02 : Vers un élevage hors sol en plaine pour pallier le manque d'herbe en hiver

Face aux difficultés croissantes pour valoriser les estives et au manque d'herbe en hiver, les pratiques d'élevage sont profondément modifiées : la transhumance est abandonnée, l'exploitation devient une entreprise « hors sol » en plaine dans laquelle l'alimentation est en quasi totalité achetée.

Le facteur moteur de cette évolution est la recherche de simplification du travail. D'autres facteurs peuvent jouer : répétition de crises sanitaires majeures, forte prédation, déprise agricole accélérée, politique agricole très verdie.

En termes de rentabilité, la productivité de l'exploitation devra beaucoup augmenter pour compenser les pertes du label AOC et des aides (ICHN, PHAE). Des races plus productives peuvent être introduites.

■ Option 03 : Réorientation vers l'élevage bovin extensif (*ranching*) face à l'augmentation du prix des céréales

Face à l'augmentation du prix des céréales liée au changement climatique et sous l'effet de diverses pressions (sanitaires, prédation, concurrence internationale, etc.), l'élevage ovin disparaît et est remplacé par un système d'élevage bovin très extensif de type *ranching* dans les zones intermédiaires semi-boisées, les bovins permettant plus facilement que les ovins de valoriser les ligneux. Cette option supposerait des aides publiques de type MAE.

CONCLUSION DE LA DEUXIÈME PARTIE

La démarche prospective choisie est basée sur des études de cas dans les secteurs agricole et forestier pour analyser de manière concrète, située et systémique les effets du changement climatique et envisager des options d'adaptation. 14 études de cas ont ainsi été choisies pour la diversité des productions, des contextes pédoclimatiques et des enjeux soulevés par le changement climatique. Chaque étude de cas fait l'objet d'une fiche qui vise à caractériser certains impacts du changement climatique sur les systèmes agricoles et forestiers existants, et à mettre ainsi en évidence les actions d'adaptation à envisager. Cette approche a permis d'imaginer une large gamme de leviers d'action pour s'adapter au changement climatique. L'analyse des freins et des moteurs à la mise en œuvre de ces leviers fait l'objet de la dernière partie de la prospective AFClim.

3.

ANALYSE STRATÉGIQUE : RESSOURCES ET CONTRAINTES POUR L'ADAPTATION DE L'AGRICULTURE ET DE LA FORÊT AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

3.1. Quatre scénarios socio-économiques pour contextualiser les options d'adaptation

Méthode de construction

Scénario 1 « Métropolisation et consumérisme »

Scénario 2 « Libéralisation et priorité à la production »

Scénario 3 « Mosaïque de territoires et d'acteurs »

Scénario 4 « Transition énergétique et environnementale »

3.2. Croisement entre scénarios de contexte socio-économique et options d'adaptation

Productions végétales

Productions animales

Forêts

Analyse du degré de transformation des systèmes
et de l'attitude des acteurs face au risque

3.3. Synthèse par scénario des ressources et contraintes pour l'adaptation

3.

ANALYSE STRATÉGIQUE : RESSOURCES ET CONTRAINTES POUR L'ADAPTATION DE L'AGRICULTURE ET DE LA FORÊT AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

L'analyse par étude de cas dans la partie précédente a permis d'appréhender techniquement les effets du changement climatique et les enjeux qui en découlent pour les systèmes de production. Mais l'adaptation au changement climatique ne sera pas seulement une question technique, elle soulève également des enjeux socio-économiques et organisationnels. Pour les analyser, quatre scénarios de contexte ont été construits par le groupe (section 3.1.). Ces scénarios ont ensuite été associés à l'une des options d'adaptation imaginées dans chacune des études de cas (section 3.2.). L'analyse de ces croisements permet de monter en généralité et de tirer des enseignements sur les facteurs favorables ou défavorables aux actions d'adaptation pour l'agriculture et la forêt, qui sont ensuite synthétisés scénario par scénario (section 3.3.).

3.1. QUATRE SCÉNARIOS SOCIO-ÉCONOMIQUES POUR CONTEXTUALISER LES OPTIONS D'ADAPTATION

Méthode de construction

Par construction, les études de cas qui sont au cœur de la prospective AFClm ne peuvent être ni déconnectées de leur contexte local ni extrapolées à l'échelle nationale. L'objectif n'est donc pas d'élaborer des scénarios globaux décrivant des voies d'adaptation pour l'agriculture et la forêt, mais bien de contextualiser les options d'adaptation imaginées dans chacune des études de cas.

Pour ce faire, nous avons utilisé la méthode des scénarios, afin de construire quatre récits plausibles, ayant une cohérence interne, et contrastés du contexte socio-économique futur pour l'agriculture et les forêts françaises, tout en conservant pour chacun d'eux le même scénario climatique A1B. Ce travail a commencé par une réflexion collective pour déterminer les facteurs socio-économiques les plus influents sur les choix d'adaptation des agriculteurs et des gestionnaires forestiers. Une trentaine de variables regroupées en quatre grandes composantes ont ainsi été choisies (*cf.* encadré n° 5). Pour chacune de ces composantes, l'équipe projet du CEP a construit des micro-scénarios en se basant sur les principaux

exercices de prospective récents¹ consacrés à l'agriculture, l'alimentation, la forêt, l'aménagement du territoire ou l'énergie. Ces micro-scénarios ont été discutés et amendés par le groupe ; ils sont présentés de manière synthétique en annexe 2. À partir de ce matériau de base, la trame des scénarios de contexte a été élaborée collectivement en séance par combinaison de micro-scénarios (voir annexe 2). L'équipe projet du CEP a ensuite décrit et documenté ces quatre images contrastées du futur ainsi que les cheminements logiques qui y conduisent depuis la situation actuelle. Les scénarios ainsi rédigés ont été à nouveau soumis au groupe, pour être amendés puis validés collectivement.

Trois critères essentiels guident ce processus d'élaboration des scénarios : la cohérence, la plausibilité et la pertinence. Certaines hypothèses sont en effet mutuellement incompatibles et certains ensembles d'hypothèses peuvent s'avérer contradictoires. Les scénarios produits doivent également être vraisemblables et cohérents, ce qui conduit à exclure certaines combinaisons de micro-scénarios. Enfin, les scénarios produits ont vocation à éclairer le débat public et la décision sur les enjeux de l'adaptation ; certaines combinaisons sont ainsi naturellement écartées car elles n'apportent pas d'éléments intéressants ou ne se distinguent pas suffisamment des scénarios déjà produits. Le processus comporte cependant une dimension subjective irréductible : elle est toutefois amoindrie par la discussion collective et ne constitue pas un problème dans la mesure où l'exercice ne vise pas une analyse exhaustive de ce qui pourrait advenir ni *a fortiori* un pronostic sur l'avenir le plus probable, mais il doit déboucher sur un ensemble d'images contrastées et étayées du futur, susceptible d'éclairer les enjeux étudiés. Les scénarios de contexte ainsi construits sont des scénarios exploratoires, c'est-à-dire destinés à explorer le champ des probables, qu'ils soient souhaitables ou non. Il ne s'agit pas de scénarios normatifs, qui partent d'un objectif fixé à l'horizon considéré et remontent dans le temps, établissant à rebours le cheminement (notamment les actions à entreprendre) pour l'atteindre. La description des scénarios contient de nombreux événements futurs hypothétiques destinés à illustrer des dynamiques ou des ruptures pouvant advenir. Il ne s'agit en aucun cas de pronostics sur ce qui va se produire ou d'expression des préférences du ministère chargé de l'agriculture ou des organismes dont sont issus les membres du groupe. De même, les scénarios ne sont ni probabilisés ni hiérarchisés : le soin est laissé à chacun de juger les évolutions qui lui semblent les plus souhaitables ou d'estimer les tendances les plus probables. Ces scénarios de contexte sont avant tout un outil permettant de réfléchir aux facteurs socio-économiques favorables ou défavorables à différentes options d'adaptation. Chaque scénario fait l'objet d'une description détaillée, qui est précédée d'un encadré rappelant les éléments clés. Les scénarios sont également illustrés par des « faits porteurs d'avenir » en encadré, c'est-à-dire des faits (événement, annonce, décision, etc.) ayant eu lieu récemment et qui semblent confirmer le scénario décrit. Il s'agit donc d'avertissements ou d'indices qui paraissent annoncer certaines réalités nouvelles et permettent d'étayer les évolutions décrites.

1. Notamment Agriculture Énergie 2030 (CEP), La forêt française en 2050-2100 (CGAAER), la prospective PAC 2020 (CGAAER), Agrimonde (INRA-CIRAD), Agriculture, environnement et territoires : 4 scénarios à 2025 (groupe de la Bussière) et Territoires 2040 (DATAR).

Encadré n° 5

LES COMPOSANTES ET LES VARIABLES UTILISÉES POUR ÉLABORER LES SCÉNARIOS DE CONTEXTE

■ Acteurs de la production agricole et forestière

- Formation des agriculteurs, des forestiers et des conseillers
- Profils des agriculteurs et des propriétaires forestiers
- Organisation politique, de producteurs (coopératives) et technique
- Évolution des industries d'aval, notamment évolution des normes et standards privés
- Aversion au risque et assurance climatique en agriculture
- Perceptions du changement climatique (dont progrès des prévisions météo saisonnières)
- Structures des exploitations agricoles et de la propriété forestière, travail
- Diffusion de l'innovation, liens entre recherche/agriculteurs et forestiers/conseillers
- Attachement des agriculteurs et des propriétaires forestiers au terroir et à leur patrimoine

■ Demandes adressées à l'agriculture et la forêt

- Consommation et régimes alimentaires (dont demande de produits locaux et de terroirs)
- Demande sociale d'aménités (paysage, loisirs, etc.), demande en services écosystémiques
- Demande en bio-énergies et en biomatériaux
- Perception de l'agriculture et de la forêt par la société
- Relations villes/campagnes (représentations, usage des sols, etc.)

- Relations entre agriculture et forêt dans l'aménagement des territoires
- Projet pour l'agriculture française (dont vocation exportatrice)

■ Contexte global

- Prix de l'énergie, du bois, des produits agricoles
- Disponibilité des ressources (eau, pétrole)
- Compétitivité des zones de production agricole dans le monde
- Croissance économique
- Progrès technique, innovation technologique
- Géopolitique et commerce international

■ Politiques publiques et gouvernance

- Politique agricole commune
- Fiscalité en agriculture
- Politique environnementale, rémunération des services environnementaux
- Politique climatique (atténuation et adaptation)
- Politique énergétique (mix énergétique, développement des EnR, part de la biomasse)
- Politiques d'aménagement des territoires, gestion territoriale
- Gouvernance de l'eau, gestion des conflits d'usage

Scénario 1 « Métropolisation et consumérisme »

Les points clés du scénario

- La société s'urbanise fortement, ce qui contribue à un désintérêt profond pour le monde rural et une vision purement utilitariste de l'environnement. La demande de produits sains (qualité nutritionnelle et sanitaire) domine des demandes hétérogènes en matière d'environnement et de production.
- L'agriculture et la forêt deviennent des secteurs de l'économie « comme les autres ». Les instances spécifiques disparaissent, l'influence des syndicats et des coopératives baisse et les filières s'organisent de façon à répondre aux demandes de santé de l'aval. La recherche de compétitivité est le principal moteur de ces changements.
- La dégradation continue des finances publiques incite l'État à engager un processus de décentralisation avancée pour limiter son rôle aux seules prérogatives régaliennes, favorisant ainsi le renforcement de collectivités déjà puissantes. Les grandes métropoles et, plus largement, les territoires fortement urbanisés, saisissent cette opportunité pour asseoir leur rôle dans l'aménagement du territoire et dans l'orientation des politiques publiques en général.
- La croissance économique est faible mais régulière. Le prix du baril de pétrole est élevé et la demande mondiale pour les commodités agricoles reste croissante, mais sans hausse brutale ni crise majeure.

Une décentralisation en réponse à la crise financière (2012-2016)

Aucune solution pérenne n'a été mise en place en Europe suite à la crise financière de la fin des années 2000. La morosité économique persiste, si bien que les finances publiques françaises continuent de se dégrader au début des années 2010. L'État initie à partir de 2014 un important processus de décentralisation. En l'absence d'orientations nationales fortes, les collectivités locales occupent un rôle croissant dans la conception des politiques publiques. Elles concentrent alors leurs moyens au renforcement de leurs atouts régionaux, ce qui profite essentiellement aux territoires fortement urbanisés. Ainsi, dans la grande majorité des collectivités, l'agriculture et la forêt sont délaissées au profit d'un étalement du tissu urbain pour attirer de nouvelles populations dans les villes. Le pouvoir revient donc avant tout aux villes et surtout aux grandes métropoles, selon la formule « tout par et pour la métropole »². La part de la population urbaine croît continuellement, avec en parallèle un développement important du péri-urbain.

Une crise de santé publique (2016-2022)

Dans ce contexte d'urbanisation des modes de vie et des préférences de la société, les maladies liées à l'alimentation (obésité, crises sanitaires récurrentes, etc.) et aux pollutions (maladies respiratoires) prennent de l'ampleur. L'épidémie d'obésité et de surpoids infantile, qui avait stagné dans les années 2010, suite à la mise en place du Plan national nutrition santé, prend à nouveau de l'ampleur en 2018. A cette date, près de deux enfants sur 10 sont en surpoids. Ce phénomène entraîne rapidement une hausse des dépenses de santé indirectement liées à l'obésité. En 2019, devant l'ampleur de cette crise qualifiée de « majeure pour la santé publique » par les médias, des « États généraux de la santé et de l'alimentation » sont lancés. En 2020, la situation financière très préoccupante de l'assurance-maladie contraint les pouvoirs publics à prendre des mesures fortes de prévention. Sont notamment mises en place des subventions pour les produits à forte qualité nutritionnelle et des taxes sur les produits trop gras, trop salés, trop sucrés.

2. Référence au Colbertisme.

■ Faits porteurs d'avenir : développement des taxes nutritionnelles

Instauration de la « taxe sodas » en France : depuis le 1^{er} janvier 2012, deux nouvelles contributions sont applicables en France aux boissons non alcoolisées contenant des sucres ajoutés (sodas par exemple) ou des édulcorants de synthèse (produits sans sucre). La taxe est à la charge des fabricants, importateurs et commerçants qui fournissent ces boissons.

Aux États-Unis, plusieurs États comme le Texas et l'Iowa ont également mis en place une taxe sur les sodas et boissons sucrées, de l'ordre de 5%.

Plusieurs municipalités envisagent également de faire voter une telle taxe à l'automne.

Par ailleurs, en 2012, le géant Disney a mis en place une nouvelle stratégie publicitaire visant à réduire l'obésité infantile, notamment en promouvant les fruits et en instaurant des normes nutritionnelles pour les produits dont il fait la publicité.

Sources : *The Wall Street Journal* du 14 août 2012, « Soda tax proposal aimed at combating obesity ». *International Herald Tribune* du 6 juin 2012, « Disney sets childhood nutritional standards for food ads ».

Par conséquent, les demandes adressées à l'agriculture et à la forêt deviennent peu à peu essentiellement liées à la santé et au cadre de vie. Les acteurs de la distribution réagissent à ces demandes en développant plusieurs démarches volontaires avec les producteurs agricoles, notamment français, et des labels alimentaires tournés vers la santé du consommateur (produit équilibré, garanti végétarien, avec zéro résidu de pesticides). À partir de 2020, des labels de santé sont développés sur les produits alimentaires par l'industrie agro-alimentaire.

Un modèle sanitaire, utilitariste et commercial (2022-2045)

Les citoyens souhaitent aussi disposer d'un cadre de vie sain, que reflète l'acceptation de plus en plus large d'une vision utilitariste des services rendus par l'agriculture et la forêt. La majorité des consommateurs, citoyens, sont fortement demandeurs d'espaces verts de proximité, en forêt et à la campagne. Pour l'habitat, la demande de produits en bois « sains » augmente, comme celle, par exemple, de meubles en bois labellisés. Des scandales d'intoxications majeures et de décès douteux portent à mettre en cause des effets toxiques et cancérigènes, réels ou supposés, de certains plastiques, ce qui renforce cette mode pour les produits en bois. Dès 2025, les importations de bois s'amplifient. Des démarches garantissant la qualité sanitaire du bois émergent pour les produits d'usage courant (ménager, décoration, technique) après 2025.

Au cours de la décennie 2020, les consommateurs vivant en ville se désintéressent et sont déconnectés du monde agricole et forestier. Alors que l'action publique continue à se replier fortement, les secteurs de l'agriculture et de la forêt connaissent une forte réduction de l'intervention publique. Leurs formes spécifiques de régulation économique sont progressivement démantelées et les représentations et schémas politiques existants s'étiolent. On assiste à un repli de la place de l'agriculture et de la forêt et à une forte diminution de l'influence des syndicats agricoles. Les questions environnementales et rurales sont délaissées au profit d'un modèle avant tout économique et sanitaire. C'est la recherche de la compétitivité et l'adéquation aux demandes des consommateurs qui priment. Les actions de régulation et d'organisation des marchés sont déléguées à des opérateurs privés, à l'aval et aux investisseurs. Ces évolutions entraînent une diminution du nombre d'agriculteurs plus rapide que la tendance actuelle : forte restructuration en grandes cultures et viande et plans de soutien aux producteurs de fruits et légumes visant les exploitations existantes. Le développement agricole est peu à peu abandonné par l'État. La mise en œuvre du conseil devient largement la chasse gardée du secteur privé dans une logique de filières, et parfois du ressort de réseaux soutenus par les régions, pour les plus dynamiques.

La PAC connaît une diminution drastique de son budget et les paiements directs sont progressivement diminués jusqu'à disparaître dans l'Union européenne à quinze en 2030. Seuls les derniers entrants des États membres continuent d'en bénéficier. Dans un premier temps, des aides de l'État français viennent accompagner la transition, puis sont peu à peu remplacées par un soutien des collectivités dans le but d'assurer l'approvisionnement alimentaire des villes. Les mesures de soutien du deuxième pilier continuent d'exister mais voient leur dimension environnementale diminuer au profit d'aides à l'investissement en faveur de la compétitivité. Les compétences en matière d'orientation des politiques agricoles sont transférées aux régions.

Jugés peu rentables, les investissements dans le secteur forestier sont très faibles et concentrés dans certaines zones, pour renforcer soit leur potentiel productif, soit leur attractivité touristique. Les forêts domaniales sont progressivement transférées aux collectivités territoriales ; l'État se désengageant progressivement et définitivement de 2035 à 2040. La gestion forestière est dominée peu à peu par de grands investisseurs tels que de grandes coopératives, des fonds de pensions et des entreprises mondialisées souhaitant investir dans le « vert » pour leur démarche de responsabilité sociale et environnementale d'entreprise (RSEE). La gouvernance du secteur par les grands investisseurs privés est renforcée par l'essor de certains labels (« bois français » et garanties sanitaires), valorisés par les consommateurs. Les prix des bois d'œuvre et du bois énergie tendent à converger vers 2030, décourageant la sylviculture longue au profit de rotations plus courtes et de coupes régulières, car les pratiques de transformation du bois n'encouragent plus les pièces de gros volume. De 2030 à 2050, la forêt est localement en recul car certaines terres forestières sont défrichées et cultivées, et il y a peu de dialogue entre les professionnels de l'agriculture et de la forêt. Certaines forêts connaissent un sort différent, avec des productions et valorisations de niche pour les plus vieux bois.

Les territoires français, lancés dans une course à la compétitivité initiée par l'Europe, s'approprient leurs identités rurales pour les commercialiser lorsqu'il y a un intérêt économique à le faire. Dans les zones proches des métropoles ou accessibles aux citadins, cette démarche fonctionne à merveille. Cependant, la prise en compte des externalités environnementales n'est pas encouragée par les pouvoirs publics et n'est pas au cœur de ces actions locales de valorisation du terroir. Finalement, la gestion des milieux est portée de plus en plus par des acteurs privés. D'une part, quelques associations de consommateurs et d'environnement cherchent à préserver des zones, notamment celles en bordure de métropole qui deviennent des « poumons verts ». D'autre part, la multiplication de labels et le développement de critères environnementaux définis par les grands groupes privés sont également créateurs de valeur et soutiens de la gestion de l'environnement. Enfin, les politiques d'aménagement du territoire donnant la priorité à la compétitivité, les orientations politiques visant la cohésion entre les territoires restent faibles. Les inégalités s'accroissent assez fortement sur le territoire français. L'action publique en faveur du climat (atténuation et adaptation) n'est pas coordonnée au niveau national. Les initiatives dans ce domaine sont en conséquence très disparates et d'efficacité inégale. Les régions s'observent, s'imitent et se concurrencent néanmoins.

Au niveau mondial, la logique économique domine les échanges internationaux et se double comme en France d'une intervention publique *a minima*. Le niveau de la croissance mondiale est modéré. En parallèle, le volume de commodités agricoles échangées augmente, en lien avec l'urbanisation et l'augmentation continue de la population. La demande alimentaire mondiale double entre 2010 et 2040. En effet, les pays émergents, notamment les BRICS (Brésil, Russie, Inde, Chine et Afrique du Sud), connaissent une forte croissance. La Chine poursuit son développement en s'affranchissant de tout partenariat avec le monde occidental, États-Unis en tête, au profit d'une logique de compétition économique exacerbée. Les pays consolident leurs organisations régionales et, pour prémunir le système économique de la multiplication de mesures distorsives appliquées aux échelons régionaux, une gouvernance multilatérale se développe dans le cadre de l'Organisation mondiale du commerce (OMC). Faute de politique de régulation, l'instabilité des prix agricoles est toujours de mise, ce qui provoque quelques crises alimentaires locales et temporaires. Durant les années 2012-2030, l'Organisation des Nations unies (ONU) et les pays de l'actuel G20 n'interviennent qu'en cas d'occurrence ou de menace de crises majeures dans des régions géopolitiques clefs (Moyen-Orient, Afrique). L'Europe est restée stable, mais peine à trouver les moyens de politiques communes ambitieuses. Son influence internationale devient limitée dès 2030.

L'image en 2050

Suite aux changements sociaux globaux et aux actions pour une alimentation plus saine, les comportements alimentaires ont profondément changé. La part des végétariens passe de 2 % en 2018 à 20 % en 2050, avec de nombreux Français « flexitariens » (régime alimentaire principalement à base de protéines végétales avec une consommation de viande occasionnelle). La sociologie des consommateurs de viande et l'image associée à cette consommation ont changé : alors qu'il s'agissait d'un attribut lié à la richesse jusqu'à la fin du XX^e siècle, cela est désormais le fait d'une population en moyenne plutôt moins favorisée. Les allégations nutritionnelles sont très nombreuses et sont très valorisées dans les filières, ainsi que l'agriculture biologique. Certaines régions, misant sur ces productions à présent valorisées d'un point de vue « santé » par les consommateurs et par la distribution, voient leur secteur agricole tirer son épingle du jeu.

■ Fait porteur d'avenir : les ventes de McDonald's stagnent en 2012

Pour la première fois depuis 2003, les ventes de Mc Donald's n'ont pas progressé en juillet 2012. Le bénéfice net du géant de la restauration rapide a même reculé de 4% au deuxième trimestre 2012. En

Europe, les ventes ont baissé de 0,6% et aux États-Unis de 0,1%.

Source : *La Tribune* du 9 août 2012.

L'agriculture française reste très productive et bénéficie de cette demande alimentaire accrue. Elle trouve également des débouchés à l'exportation pour ses produits de qualité, et la vocation alimentaire de la production agricole prime sur la valorisation énergétique. Les acteurs forestiers et agricoles deviennent avant tout des chefs d'entreprise dont le niveau de qualification continue d'augmenter. Leur priorité est la recherche de gains de productivité, d'investissements capitalistiques extérieurs importants pour optimiser l'équilibre entre rendement et demandes en qualité nutritionnelle (diminution de 15% de l'usage de phytosanitaires toutes cultures confondues en 2045). La demande en produits pétroliers est stabilisée depuis 2035 aux environs de 100 millions de barils par jour, avec un prix du baril soutenu mais relativement stable. Des investissements importants ont en effet permis d'accroître fortement la production énergétique et de faire face à la demande. Par ailleurs, le niveau des efforts consentis pour l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre reste modéré. La politique climatique, après l'échec et la disparition du marché européen de quotas de CO₂ en 2022, se réduit à des initiatives volontaires, relevant de stratégies de communication de la part des entreprises. L'objectif de réduction des émissions de 20% à l'horizon 2030 pour les pays développés n'a pas été atteint, et les discussions restent difficiles concernant l'implication des pays émergents. De 2030 à 2050, les effets du changement climatique ont été graduels et n'ont pas provoqué de crise grave, si bien que le modèle de développement et d'utilisation des ressources naturelles en vigueur n'a pas été fondamentalement remis en cause. Le changement climatique fait l'objet de scepticisme voire de déni et un attentisme règne quant aux actions d'adaptation. Les acteurs ont confiance dans la capacité des organismes de R & D à apporter des solutions techniques ou technologiques.

■ Fait porteur d'avenir : l'eau Plancoët a conquis toute la Bretagne

Leader sur le marché des bouteilles en verre destinées à la restauration, dans le top 3 des marques distribuées en grande surface, l'eau minérale de Plancoët est devenue un emblème régional. En 1997, le maire de Rennes interdit de boire l'eau du robinet à cause d'une pollution par les nitrates. La même année, une eau régionale, la Plancoët, est commercialisée. Son slogan est

« Plancoët zéro nitrates ». Les 96 hectares entourant la source sont rachetés aux agriculteurs, pour les garantir exempts de toute trace de pollution. Un récent rapport du WWF l'a classée comme la meilleure de sa catégorie pour sa pureté en France métropolitaine.

Source : *Ouest France* du 26 septembre 2011.

Scénario 2 « Libéralisation et priorité à la production »

Les points clés du scénario

- La logique de rentabilité économique est dominante, la libéralisation des échanges et la régulation par le marché prévalent. Les pays émergents s'affirment comme des acteurs majeurs de l'économie mondiale. Le modèle de développement reste basé sur les énergies fossiles, au détriment de la lutte contre le changement climatique.
- L'État s'en tient à un rôle de garant des libertés et minimise ses interventions dans la gestion des activités économiques. Les montants alloués à la PAC diminuent très fortement, l'agriculture et la production forestière se financiarisent.
- L'agriculture et la forêt deviennent des secteurs économiques « comme les autres » : disparition des instances spécifiques, forte diminution de l'influence des syndicats et des coopératives. Le pilotage des filières est assuré par l'aval. Les acteurs se focalisent sur les enjeux de production et de compétitivité.
- Les tensions fortes en matière d'alimentation et d'énergie conduisent à se concentrer sur les volumes produits, en agriculture comme en forêt. Cette focalisation sur la production ne laisse qu'une place résiduelle à la protection de l'environnement.

Austérité et réformes structurelles pour sortir de la crise (2012-2020)

Face à une crise persistante des finances publiques et de la gouvernance de la zone euro, l'Union européenne s'oriente vers une discipline budgétaire renforcée, sans approfondissement politique de l'Union. Depuis la crise économique et financière de 2008-2009, le centre de gravité de l'économie mondiale a basculé vers l'Asie. Les BRICS s'affirment comme locomotives de l'économie mondiale, leurs taux de croissance se maintiennent à des niveaux élevés (plus de 5 % par an) et leur modèle de développement devient de plus en plus endogène (croissance de la consommation intérieure). L'Europe, en revanche, est marginalisée sur les plans économiques et politiques. Pour tenter de compenser ce décrochage et de bénéficier d'une partie de la croissance des pays émergents, les pays européens s'engagent dans d'importantes réformes structurelles visant à améliorer leur compétitivité et assainir leurs finances publiques : libéralisation du marché du travail, réduction forte de l'intervention de l'État dans l'économie, baisses d'impôts et de charges, etc. La recherche de la compétitivité pousse au repli général de l'action publique. Les actions de régulation et d'organisation des marchés sont déléguées à des opérateurs privés.

Au niveau international, on assiste à un approfondissement de la libéralisation économique, dominée par les grandes firmes internationales et encadrée par l'OMC. Les velléités de régulation accrues nées après la crise de 2008 s'éteignent et laissent place à une vision optimiste du développement de l'économie mondiale, une ouverture commerciale accrue (conclusion du cycle de Doha en 2015) et un souci de compétitivité pour les économies développées et émergentes. La croissance mondiale est soutenue, et des tensions récurrentes se font sentir sur les marchés de matières premières.

La marginalisation des questions agricoles et forestières (2015-2030)

On assiste à un repli de la place de l'agriculture et de la forêt dans la société française (représentations et schémas politiques). En parallèle, la question agricole se marginalise dans le débat public national comme au sein de l'Union européenne : elle suscite l'indifférence voire une certaine défiance de la part de l'opinion publique. L'érosion de la confiance du grand public dans la capacité des agriculteurs à préserver la santé des consommateurs et l'environnement s'accélère. Il n'y a en effet aucun changement notable des pratiques agricoles, un très faible développement de l'agriculture biologique et on assiste à une multiplication de problèmes sanitaires et environnementaux liés à l'agriculture, fortement médiatisés (cancers dus aux pesticides chez les agriculteurs, algues vertes, dégradation des ressources en eau). De plus en plus de voix se font entendre, y compris en France, pour contester la légitimité du soutien à l'agriculture et le caractère stratégique du secteur, en soulignant que le pays exporte en valeur beaucoup plus de produits industriels et de services que de produits agricoles. De plus, les débats sur la sécurité alimentaire

aboutissent à un consensus sur le fait que celle des pays en développement passe par des productions locales et qu'en Europe, le pouvoir d'achat est peu sensible à l'évolution des prix des matières premières agricoles (faible poids des produits agricoles dans les prix à la consommation des produits alimentaires et faible part des produits alimentaires dans les dépenses des ménages). Ces évolutions sapent la légitimité des politiques agricoles, et en premier lieu de la PAC. Les formes spécifiques de la régulation économique des secteurs agricoles et forestiers sont progressivement démantelées. Les questions environnementales et rurales sont délaissées au profit d'un modèle avant tout économique.

La réforme de la PAC de 2020 n'apparaît pas comme un sujet prioritaire et ne fait pas l'objet d'une préparation adéquate. Les désaccords se maintiennent, avec une multiplicité d'acteurs et d'intérêts en présence, de poids politique équivalent. Dans un premier temps, chaque État membre est soucieux de maintenir ses avantages acquis sans être en mesure de proposer une vision cohérente et rassembleuse. Dans un contexte budgétaire très difficile, cette absence de vision débouche sur une réduction drastique du budget de la PAC. Les transferts des crédits ainsi dégagés vers la politique de cohésion et la nouvelle politique de l'innovation emportent l'adhésion d'une majorité d'États membres. Une période transitoire de modification des outils de la PAC, pour tenir compte de la baisse du budget, est instaurée jusqu'en 2025 et s'accompagne d'une libéralisation accrue du secteur agricole. Les aides publiques à ce secteur connaissent une diminution drastique et les paiements directs sont progressivement diminués jusqu'à disparaître dans l'Union à quinze. Seuls les nouveaux États membres continuent d'en bénéficier pendant une période transitoire. Dans un premier temps, des aides de l'État français viennent accompagner la transition, puis sont peu à peu abandonnées.

■ Fait porteur d'avenir : scénario de la commission européenne pour la PAC

La Commission européenne a réalisé une étude d'impact destinée à évaluer les effets escomptés de trois scénarios pour la PAC post-2013. Aux côtés d'un scénario « adaptation » et d'un scénario « intégration », le scénario « recentrage » suppose la suppression progressive des paiements directs. Il se traduirait, selon cette étude, par une forte restructuration du secteur et par l'expansion et la multiplication d'exploitations à forte intensité de capital. L'intensification de la production dans les régions les plus fertiles et l'abandon des terres

dans les zones moins avantagées auraient des conséquences négatives sur l'environnement. La suppression progressive des paiements directs entraînerait la faillite de nombreuses exploitations agricoles et exercerait une pression supplémentaire quant à la viabilité des zones rurales avec une hausse du chômage et des migrations.

Source : Commission européenne
http://ec.europa.eu/agriculture/analysis/perspec/cap-2020/impact-assessment/summary_fr.pdf

En France, comme dans les autres grands États membres, l'essentiel des politiques forestières, de développement rural et d'agro-environnement est transféré aux régions au titre de leurs compétences en développement économique local et en environnement. En France, le ministère de l'agriculture est supprimé après les élections de 2024, d'autant que les outils résiduels de la PAC ne nécessitent plus d'intervention forte de l'État. Les secteurs agricoles et forestiers sont désormais des secteurs économiques comme les autres, gérés par le ministère de l'économie. Jugés peu rentables, les investissements dans le secteur forestier sont très faibles et concentrés dans les zones les plus productives. En dehors de ces zones de production, seules les forêts ayant un potentiel touristique fort font l'objet d'un entretien régulier. De vastes zones forestières sont en revanche laissées à l'abandon. L'ONF est progressivement transformé en société anonyme et, peu à peu, la gestion forestière est dominée par de grands acteurs (coopératives, fonds de pensions et entreprises mondialisées).

Des marchés de matières premières tendus et volatils (2025-2050)

La demande mondiale en produits agricoles, de même que celle en énergies fossiles et en bois, augmente avec la croissance démographique et le développement des pays du Sud. En conséquence, les prix des produits agricoles et forestiers augmentent, et deviennent aussi plus volatils. Dans le même temps, l'accroissement de la demande alimentaire pousse à la mise en culture des terres et pèse donc sur l'espace forestier. De 2015 à 2025, les crises alimentaires, comme celle de 2008, surviennent périodiquement.

Pour y faire face, les échanges, notamment Sud-Sud, se développent fortement, les pays exportateurs (Brésil, Russie, Ukraine) augmentant leur production pour répondre aux besoins croissants des pays importateurs nets (Moyen-Orient, Afrique du Nord, Corée, etc.). Entre 2030 et 2050, les importants investissements privés réalisés en Afrique ou en Amérique du Sud, où le potentiel de terres disponibles était encore important, commencent à porter vraiment leurs fruits et les prix se détendent.

Les négociations internationales sur le climat ne progressent pas, aucun pays ne voulant entraver sa croissance par des contraintes sur la production. Les quelques accords partiels signés sont souvent transgressés par les pays qui disposent de ressources fossiles importantes, et ce d'autant plus que des progrès techniques permettent de mieux mobiliser ces ressources. La prise en compte des externalités environnementales n'est pas encouragée par les pouvoirs publics. Concernant la politique climatique (atténuation et adaptation), après l'échec et la disparition du marché européen de quotas CO₂, seules des initiatives volontaires subsistent, relevant de stratégies de communication de la part des entreprises. Au niveau énergétique, la gestion des crises fait face à des contraintes budgétaires importantes ; elles sont régulées par le marché. La gestion des milieux est laissée au secteur privé : multiplication de labels et développement de critères environnementaux définis par les grands groupes privés. Les politiques d'aménagement du territoire donnent la priorité à la compétitivité et les orientations politiques visant la cohésion entre les territoires restent faibles.

La vocation et le projet de l'agriculture française sont avant tout centrés sur la production alimentaire et énergétique. Des marchés mondiaux porteurs permettent à la France de maintenir des niveaux d'exportations agricoles importants dans les secteurs où elle dispose d'avantages comparatifs. À l'inverse, le niveau des importations augmente là où la ferme France est moins compétitive. Dans un contexte énergétique tendu, la biomasse agricole et forestière est largement mobilisée pour produire de l'énergie : développement du bois de chauffage, de la méthanisation, de l'énergie solaire « à la ferme » ainsi que des biocarburants de seconde génération. Les prix des bois d'œuvre et du bois énergie tendent à converger, décourageant la sylviculture au profit de rotations courtes et de coupes régulières. Les travaux de plantation et de régénération dans les zones les plus favorables apparaissent stratégiques pour extraire plus de volume de bois, avec des taillis à très courte rotation et la mise en place de nouvelles variétés sélectionnées. Localement, certains paysages agricoles et forestiers changent drastiquement. Des terres agricoles ou forestières en friche sont laissées à l'abandon dans les zones difficiles et donc peu compétitives. La production de bio-énergies et l'utilisation de biomatériaux sont tirées par les prix soutenus des matières premières, et des zones entières se spécialisent pour fournir de la biomasse végétale. Le secteur des biocarburants devient un débouché important pour l'agriculture. La segmentation et l'intégration des filières sont croissantes. Agriculture et forêt restent deux secteurs très peu reliés.

Les demandes sociales d'aménités (paysage, loisirs) et de maintien d'habitats naturels pour leurs services écosystémiques sont très faibles et se restreignent à des zones particulières à enjeux ou aux zones non compétitives pour la production primaire. Il en résulte, en 2050, une dualité géographique dans l'exigence de qualité environnementale et d'aménités, et une spécialisation importante des espaces. Cette évolution se double d'une méconnaissance accrue des métiers de l'agriculture et de la forêt par des citoyens très majoritairement urbains. Le régime alimentaire moyen reste très carné et basé sur la quantité à faible coût. La part de l'alimentation dans le budget des ménages continue de diminuer.

L'image en 2050

Ces évolutions entraînent une forte réduction du nombre d'exploitations agricoles, assumée et accompagnée socialement, ainsi qu'un renforcement des écarts entre deux types d'exploitations agricoles : des exploitations économiquement performantes mais peu nombreuses, qui ont réussi à se développer en mettant en place une véritable politique commerciale et en profitant de la sortie de nombreux agriculteurs et des aides à la modernisation ; et des exploitations moins grandes et/ou moins spécialisées qui se maintiennent en valorisant des productions spécifiques (AOC, agriculture biologique). Le modèle technique dominant est celui d'une agriculture de précision, à forts niveaux d'intrants et de production. Les surfaces dégagées par la restructuration vont à l'agrandissement des exploitations restantes ou à d'autres usages, tels que l'étalement urbain. Les acteurs forestiers et agricoles deviennent avant tout des chefs d'entreprise dont le niveau de qualification continue d'augmenter. Leur priorité est la recherche de gains de productivité. Le changement climatique fait l'objet de scepticisme voire de déni et un attentisme

règne quant aux actions d'adaptation. Les acteurs ont confiance dans la capacité des organismes de R & D à apporter des solutions techniques ou technologiques. La céréalisation de la « ferme France » s'amplifie et la déprise agricole est marquée dans les zones les moins favorables.

■ Fait porteur d'avenir : céréalisation et exportations

La récolte annuelle française de céréales a atteint en moyenne 65 millions de tonnes (Mt) sur la période 2000-2010. À partir de 2008, avec la suppression de la jachère, elle se rapproche de 70 Mt. Les exportations constituent un débouché important de la production céréalière française : en moyenne, entre les campagnes 1993-1994 et 2010-2011, près de la moitié des ressources, soit plus de

33 Mt sont destinées au commerce international, principalement vers l'Union européenne, mais elles connaissent également une forte progression des pays tiers, notamment l'Égypte.

Source : *Agreste Primeur*, n° 286, juillet 2012.

<http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/publications/primeurs/article/bilans-cerealiers-francais-de-1993>

Scénario 3 « Mosaïque de territoires et d'acteurs »

Les points clés du scénario

- Le rejet de la mondialisation vue comme une source d'instabilité et de menace a conduit au cloisonnement du monde en « blocs régionaux » entre lesquels les échanges sont devenus faibles.
- Ce retour vers le local se prolonge à l'intérieur des blocs régionaux, en particulier en Europe et en France où un grand mouvement de décentralisation et de relocalisation s'amorce. Les prérogatives de l'État sont progressivement transférées vers les collectivités locales, jugées plus à même de répondre aux besoins des populations dans un monde en crise.
- Ce contexte est propice à l'affirmation du rôle de la société civile dans la gestion des affaires publiques et les acteurs s'organisent en réseaux d'intérêts communs. L'innovation et l'intégration deviennent les maîtres mots du développement d'un monde rural renouvelé.
- Les demandes de la société adressées aux secteurs agricoles et forestiers sont multiples et conduisent à renforcer les atouts de chacun des territoires pour en faire des espaces multifonctionnels fournissant cadre de vie, produits et services aux populations.

L'échec de la mondialisation (2012-2020)

Au cours de la décennie 2010, aucune solution pérenne à la crise de la dette en Europe, mais aussi dans d'autres régions du monde (Japon, États-Unis), n'est trouvée dans le cadre économique dominant. La croissance mondiale est faible et ponctuée d'épisodes de récession. Face à cette morosité économique, les institutions internationales se montrent incapables de faire émerger un consensus proposant un nouveau modèle de développement à même de débloquer la situation. Toute réforme de ces institutions est par ailleurs bloquée par les puissances occidentales craignant d'y perdre leur position dominante au profit des pays émergents. Les impasses diplomatiques, économiques et environnementales (blocages systématiques du Conseil de sécurité de l'ONU, échec des négociations climatiques et commerciales) se multiplient et font peu à peu perdre toute légitimité aux processus de gouvernance multilatérale.

Le rejet de la mondialisation, perçue alors comme une source d'instabilité et de menace, conduit à un cloisonnement entre les régions du monde propice à l'affirmation ou la reconfiguration d'alliances existantes (comme l'Europe ou l'ASEAN en Amérique du Nord). Les échanges internationaux ralentissent et on assiste à un repli sur des « blocs régionaux ». Tandis que des politiques protectionnistes instaurent de nouveaux droits de douane ciblés aux frontières des blocs européens et américains, les pays émergents réorientent leur modèle économique au profit d'échanges « Sud-Sud » et de leur demande intérieure.

Le déclin du pouvoir étatique (2021-2025)

L'échec de la mondialisation est aussi perçu comme celui des États ayant contribué à la construire et c'est désormais le régional et le local qui prévalent. Considérés comme les plus à même de définir et piloter des politiques publiques adaptées aux besoins des territoires et des citoyens, les pouvoirs locaux sont renforcés par un profond mouvement de décentralisation. Les régions françaises ont désormais la charge de la plupart des politiques sectorielles, dont l'agriculture et la forêt. Ce transfert de compétences est accompagné par l'allocation de nouvelles ressources et règles budgétaires. Les régions sont désormais autonomes et peuvent s'endetter pour financer leurs politiques, tout en bénéficiant de nouvelles recettes par d'importants transferts d'impôts. Cette nouvelle autonomie conduit les régions à mettre en œuvre des stratégies économiques dont les objectifs sont très contrastés, mais consistant principalement à renforcer les atouts préexistants de leurs territoires. Les régions agricoles les plus productives soutiennent un modèle intensif qui constitue la base de leur économie. D'autres misent sur une agriculture de proximité ou des productions de qualité. Le système énergétique se décentralise également fortement, avec un développement des énergies renouvelables et des efforts d'économie d'énergie. Il en résulte des déséquilibres dans la répartition des activités économiques entre les régions qui peuvent générer des tensions. Les régions les moins favorisées connaissent des difficultés importantes en l'absence de toute péréquation.

■ Fait porteur d'avenir : vers une régionalisation des aides de la PAC ?

Le Comité des régions a publié en mai 2012 son rapport sur l'avenir de la PAC. Il demande notamment que les autorités locales aient un rôle accru dans la mise en œuvre de cette politique, comme dans la gestion du verdissement, « afin de prendre en compte la diversité des territoires européens ». Le basculement de la gestion des fonds européens aux régions est considéré comme une piste de travail

« intéressante » par le gouvernement français. En Allemagne, en Italie et en Espagne, ces fonds sont gérés par les régions. Dans le cadre de la réforme de la politique agricole commune, les États ont jusqu'à fin juillet 2013 pour décider si les aides seront accordées au niveau national ou régional.

Sources : <http://www.euractiv.fr/comite-regions-imagine-propre-pac-article>

Avec cette nouvelle forme de gouvernance, la politique de cohésion européenne est devenue obsolète, et ses objectifs de convergence sont abandonnés. La disparition d'orientations nationales et européennes fortes, couplée à la montée en puissance des pouvoirs locaux, conduit à l'apparition d'une mosaïque de territoires et de situations économiques très disparates sur le sol français. Mais ce manque de cohérence a des répercussions importantes sur les capacités nationales à satisfaire les besoins des populations, les effets du changement climatique commençant également à se faire sentir. Le taux d'autoapprovisionnement alimentaire chute et la crainte de perdre la sécurité alimentaire acquise en Europe refait surface. L'approvisionnement énergétique de certains territoires s'avère également difficile ou très coûteux.

L'affirmation de partenariats interrégionaux (2026-2040)

Face à cet éclatement des territoires, les collectivités et régions s'organisent pour favoriser un développement concerté. Des partenariats se nouent entre des territoires aux intérêts communs et d'autres aux besoins complémentaires. Les territoires agricoles productifs s'associent entre eux pour répondre aux besoins alimentaires croissants, d'autres régions se spécialisent dans la production énergétique, en particulier à partir de la biomasse.

■ Fait porteur d'avenir : solidarités interrégionales entre céréaliers et éleveurs

Suite aux dégâts du gel hivernal de 2012, les agriculteurs Vosgiens manquent de paille. Pour la deuxième année consécutive, ils ont pu compter sur l'aide d'une centaine d'agriculteurs de l'Oise, qui ont décidé de leur donner ou vendre de la paille. L'échange a été organisé par les fédérations départementales des syndicats d'exploitants

agricoles, donnant lieu à des contrats tripartites entre l'agriculteur et les deux fédérations. Les participants ont déclaré que cette opération avait créé des liens et de la solidarité.

Source : *Le Parisien* du 9 août 2012, « Les agriculteurs compiégnois solidaires des Vosgiens ».

Ce type d'échange se renforce au sein du bloc européen tout entier, et ignore de plus en plus les frontières nationales qui tendent à s'effacer. Mais l'affirmation de ces partenariats n'a fait que renforcer les mouvements de développement différentiel des régions basés sur des dotations initiales des territoires très inégales. Les tensions autour des biens publics locaux deviennent de plus en plus fortes. Les valeurs du foncier sont de plus en plus hétérogènes et il est devenu impossible d'y accéder dans certaines régions. Les agences de bassins ayant perdu leur mandat de gestion des masses d'eau au profit des régions, les conflits d'usage autour de la ressource se multiplient. La gestion des prélèvements n'est pas coordonnée et entraîne localement une baisse critique des réserves en eau. Plus généralement, l'état de l'environnement est parfois localement très dégradé.

Cette situation est alors propice à l'affirmation d'un rôle prépondérant des acteurs de la société civile dans la vie publique. Les marges de manœuvre laissées par la décentralisation ont permis à un grand nombre d'entre eux de développer leur capacité d'innovation technique et organisationnelle. La liberté de circulation totale de l'information *via* les réseaux permet une coordination efficace hors du champ des institutions existantes. Capital social et capital humain sont devenus les clés de la réussite économique des entreprises. En agriculture, des filières territorialisées se structurent et les coopératives d'échelle

européenne se multiplient. Les organisations professionnelles sont devenues plus puissantes et ont maintenant la charge de la mise en œuvre de nombreux volets de la politique agricole dans plusieurs régions. Ce mode d'organisation coexiste également avec des réseaux plus locaux d'approvisionnement en produits de terroir et de qualité. Les acteurs associatifs de la société civile ont aussi accru leur poids dans l'action collective et sont davantage partenaires des institutions publiques locales. En matière d'environnement, de nombreuses régions leur confient la charge de conduire des actions de protection des milieux.

Les orientations de la société et son développement sont finalement essentiellement guidés par des « réseaux ». Ces affinités, alliances entre collectivités, entreprises, associations, particuliers contribuent à faire émerger des « territoires virtuels » qui ne partagent pas nécessairement un même attachement physique au sol mais qui ont en commun un héritage culturel, économique ou environnemental. L'innovation et la créativité dans les modes de communication, d'échanges et de fournitures de biens et services répondent aux besoins d'acteurs variés aux intérêts cependant communs.

L'image en 2050

Le modèle économique et social a donc été bouleversé. La circulation des biens et les échanges de services ont été fortement réduits au niveau mondial mais sont très denses au sein des blocs régionaux comme celui constitué par l'Union européenne. La croissance mondiale est relativement faible et chaque bloc se tourne d'abord vers l'autosuffisance et l'autonomie. En France et en Europe, le rôle des institutions centrales a fortement décliné. L'affirmation des pouvoirs locaux conduit à des stratégies de développement basées sur le renforcement des richesses de leurs territoires.

Des *clusters* agricoles ou forestiers émergent dans les zones les plus productives. *A contrario*, d'autres territoires ont privilégié leur cadre de vie, en conciliant au sein des mêmes espaces loisir, production de terroir et habitat. La logique de projet et des partenariats multiples entre acteurs et entre territoires constituent les formes principales de gouvernance. Les acteurs de la société civile sont ainsi amenés à jouer un rôle prépondérant dans la conduite des affaires publiques. Ce mode d'organisation conduit à compenser les déséquilibres nés de la spécialisation des territoires par des réseaux qui s'affranchissent des structures et des organismes officiels. De nombreuses associations environnementales, par exemple, renforcent leur expertise et leur poids politique en développant des partenariats à l'échelle nationale et européenne. L'absence de cadres et d'institutions nationales fortes aboutit cependant à des conflits ouverts entre groupes d'intérêts divergents et à un repli identitaire fort dans certaines régions.

En matière d'environnement, la situation reste cependant très hétérogène. Si les biens publics locaux, tels que les paysages, la qualité de l'eau et dans une certaine mesure, la biodiversité font l'objet d'une préservation renforcée sur certains territoires, ils sont totalement délaissés ailleurs. Les problèmes environnementaux d'échelle globale, à commencer par la lutte contre le changement climatique, sont quant à eux largement délaissés, même si les émissions de GES ont diminué compte tenu du ralentissement de l'économie mondiale. Bien que n'ayant pas cet objectif, les transformations du modèle énergétique ont également contribué à cette réduction. Dans la recherche de sources de revenus et d'indépendance vis-à-vis de l'extérieur, de nombreux territoires ont favorisé le développement des énergies renouvelables. Face au changement climatique qui se fait toutefois ressentir, des actions d'adaptation sont entreprises principalement à l'initiative de réseaux d'acteurs issus de la société civile. Les régions dont le secteur économique principal est menacé mènent également des politiques incitant fortement à s'adapter.

■ Fait porteur d'avenir : ces territoires en route vers l'indépendance énergétique

Le Pays du Mené, petite intercommunalité bretonne, s'est donné pour objectif à l'horizon 2030 l'indépendance énergétique totale. Une huilerie fournira *via* la pressurisation de graines de colza une alternative au gasoil pour la centaine de tracteurs des exploitations locales. Une unité de méthanisation a été inaugurée, transformant les déjections de porcs en énergie. Des panneaux photovoltaïques ont été posés, des chaudières au bois reliées à des réseaux de chaleur installés et un

projet d'éoliennes initié. Une dynamique ambitieuse soutenue par le conseil général, le Conseil régional et des partenaires privés. D'abord isolé, le Mené a été rejoint par d'autres collectivités rurales pour fonder, à l'été 2011, le Réseau des territoires à énergie positive.

Source : *Acteurs publics*, juin 2012 :

<http://www.acteurspublics.com/2012/06/01/ces-territoires-en-route-vers-l-independance-energetique>

Les bouleversements survenus dans les modes de gouvernance et le développement des territoires ont profondément affecté l'agriculture française. Sa vocation exportatrice (hors Union européenne) a été en grande partie remise en cause par la fermeture des marchés internationaux bien que les débouchés perdus aient en partie été compensés par un renforcement des échanges intracommunautaires. La taille économique du secteur agricole a globalement diminué en France, mais son importance relative au sein des territoires est maintenant très hétérogène, les surfaces et l'activité agricoles s'étant concentrées dans les zones les plus productives. Dans un secteur déjà bien organisé, les acteurs des filières ont renforcé leurs coopérations. Bien que leur poids économique ne soit pas prépondérant au niveau national, la sécurité alimentaire étant devenue un enjeu de premier plan suite au mouvement de repli régional, même en Europe, les représentants du monde agricole exercent une certaine influence politique dans les régions ou le secteur est resté (ou devenu) important dans l'économie et l'aménagement local du territoire.

Un mouvement similaire s'est produit dans le secteur forestier. Mais le morcellement des surfaces et le nombre important de petites propriétés n'ont pas permis d'atteindre une organisation aussi structurée que celle observée dans le monde agricole. Seuls quelques territoires presque exclusivement dédiés à la production forestière ont pu s'associer pour faire valoir leurs intérêts dans une gouvernance des politiques publiques devenue multipartenariale.

Scénario 4 « Transition énergétique et environnementale »

Les points clés du scénario

- Les demandes adressées à l'agriculture et à la forêt sont multiples : production alimentaire de qualité, production énergétique, services environnementaux, développement territorial.
- Après d'importantes réticences, les acteurs du monde agricole et forestier se mobilisent pour une transition environnementale et énergétique.
- Les politiques de protection de l'environnement et de lutte contre le changement climatique sont peu à peu légitimées et mises en place dans le cadre d'une relance économique au niveau européen.
- La nécessité d'une transition environnementale et énergétique finit par faire consensus dans les pays développés et émerge dans les pays en développement, si bien qu'une gouvernance mondiale se construit autour des problématiques environnementales et climatiques.

Une prise de conscience environnementale en Europe (2012-2018)

Au cours des années 2010, des événements climatiques extrêmes sont médiatisés à travers le monde (sécheresses, gel, tempêtes, etc.) impliquant une succession de mauvaises récoltes dans les grandes régions agricoles (États-Unis, Australie, Ukraine, Europe de l'Ouest, etc.). Ces catastrophes provoquent une flambée des prix agricoles et d'importantes crises alimentaires au niveau mondial qui attirent l'attention des opinions publiques. Les effets du changement climatique sont également perceptibles au niveau forestier, avec de nombreux dépérissements. En parallèle, les prix de l'énergie sont en forte hausse (le prix du baril atteint 140 dollars en 2015), ce qui a des conséquences économiques lourdes, en particulier pour les acteurs de la production agricole et forestière, et surtout dans les pays d'Europe où la dépendance aux énergies fossiles est forte. La concurrence entre production alimentaire et production de biocarburants s'accroît et les tensions sur les ressources sont de plus en plus marquées au niveau mondial. Ces difficultés favorisent la prise de conscience, aussi bien chez les agriculteurs, les forestiers que dans l'opinion publique, de la vulnérabilité des systèmes de production.

■ Fait porteur d'avenir : flambée des prix agricoles en 2012

En 2012, une violente sécheresse aux États-Unis et au Mexique, ainsi qu'une mousson insuffisante en Inde et de faibles récoltes en Russie provoquent une flambée des cours des céréales et font craindre une crise alimentaire. La concurrence entre usage alimentaire ou usage énergétique des grains, en particulier de maïs pour la production de bio-éthanol, est telle que le président de la FAO José Graziano

da Silva a demandé une suspension temporaire des mandats d'incorporation.

Sources : *Le Monde* du 31 juillet 2012, «Après deux années de sécheresse historique, le Mexique reste dans une situation critique».

Le Monde du 8 août 2012, «La faible mousson met à sec les greniers de l'Inde».

Les Echos du 13 août 2012, «La flambée des prix agricoles fait planer la menace d'une crise alimentaire».

On assiste alors à une montée en puissance des préoccupations environnementales, en particulier en Europe. Les citoyens se mobilisent autour des enjeux environnementaux au sens large. Les ONG sont de mieux en mieux structurées et leurs actions et revendications très médiatisées. La pression sociétale est telle que la nécessité d'une transition environnementale et énergétique fait peu à peu consensus au niveau européen. L'idée que l'Europe pourrait être précurseur d'un modèle de développement plus sobre, plus autonome et plus avancé en matière d'atténuation du changement climatique, fait son chemin.

■ Fait porteur d'avenir : vers une réduction de la spéculation sur les matières premières ?

Plusieurs banques allemandes et autrichiennes ont renoncé à investir dans des fonds agricoles et à spéculer sur les marchés des matières premières agricoles, en réponse aux critiques de nombreuses ONG telles que Oxfam et Foodwatch qui dénonçaient une « financiarisation de plus en plus importante des matières premières ». Cette initiative semble être également liée à la prévision de révision de

la directive sur les instruments financiers par la Commission européenne, qui pourra alors imposer des limites aux positions prises sur les marchés de dérivés des matières premières en cas de perturbations de ces marchés.

Source : *Les Echos* du 24 août 2012, « Sous la pression des ONG, plusieurs banques renoncent à spéculer sur les matières premières ».

Une transition énergétique et environnementale qui s'amorce en Europe (2018-2028)

Après la crise financière de 2008, dont les effets ont perduré jusqu'au milieu de la décennie 2010, l'Union Européenne se tourne vers davantage de fédéralisme. Grâce à la mise en place de capacités de financement innovantes au niveau européen, une grande relance économique et un plan de sortie de crise tournée vers l'économie verte s'amorcent. Plus solide politiquement et plus encline à l'intervention publique, l'Europe s'engage résolument vers 2020 dans une vaste stratégie de transition environnementale et énergétique. Cette nouvelle orientation génère des conflits entre les forces sociales et politiques européennes, mais les contradicteurs sont plutôt minoritaires et, surtout, ils ne parviennent pas à proposer un modèle alternatif crédible. Le consensus politique autour de la transition, à conduire entre-tient les investissements et les débouchés des acteurs économiques qui s'y engagent, ce qui contribue progressivement à concrétiser les promesses de ce nouveau modèle de développement et à renforcer le consensus.

L'Europe se dote donc d'une politique environnementale et climatique ambitieuse et ancrée sur le long terme par son inscription dans les traités en 2019. Des politiques volontaristes visant conjointement la protection des milieux et la lutte contre le changement climatique concernent tous les secteurs de l'économie, mais aussi les politiques d'aménagement du territoire, qui privilégient la densification urbaine. D'importants investissements sont réalisés pour la recherche et le développement de technologies vertes et sobres en carbone. L'Europe instaure une taxe carbone interne en 2021, dont le produit permet de financer les investissements nécessaires à la transition écologique. L'Europe se dote de plus d'outils économiques rémunérant le stockage de carbone dans les sols agricoles ou *via* la filière forêt-bois et met en place des droits de douane assis sur le contenu carbone des produits à ses frontières. L'étiquetage environnemental des produits agricoles et forestiers devient obligatoire en 2022. La même année, l'Europe adopte une politique énergétique commune, visant une réduction importante des gaz à effet de serre *via* une diversification de la production énergétique (promotion des énergies renouvelables notamment).

■ Fait porteur d'avenir : taxe carbone aux frontières de l'Europe ?

D'après Monique Barbut, ancienne présidente du Fonds pour l'environnement mondial, les négociations mondiales sur le climat ne pourront reprendre que si les Européens décident d'adopter des positions volontaristes, vis-à-vis de l'Europe mais aussi vis-à-vis des autres. Il faut mettre en place une taxe climatique aux frontières et un

protectionnisme européen vis-à-vis des produits qui contiennent plus de CO₂ que ce qui est autorisé pour les produits fabriqués en Europe. Cette taxe générerait des recettes importantes pour l'Europe.

Source : *Le Monde* du 23 août 2012, « Il faut une taxe climat aux frontières de l'Europe ».

La transition environnementale s'engage également en agriculture (2020-2030)

Face à cette transition qui s'engage nettement, la faible contribution initiale de l'agriculture aux objectifs environnementaux européens apparaît difficilement tenable. Les négociations autour d'une profonde réorientation de la PAC post-2020 s'engagent dans un climat de réticence de la part du monde agricole. Les syndicats agricoles sont partagés mais voient dans le verdissement de la politique agricole européenne

une opportunité de légitimer les soutiens publics au secteur. Après une période de contestation et de négociations difficiles, la réforme de la PAC en 2024 a finalement lieu : les deux piliers sont supprimés au profit d'une aide proportionnelle aux niveaux de services environnementaux rendus par l'exploitation. Ces aides sont par ailleurs plafonnées, ce qui a pour effet d'infléchir durablement la tendance à l'agrandissement des exploitations agricoles. Les services environnementaux (ex. : stockage de carbone, maintien de la biodiversité ou de la qualité de l'eau) sont rémunérés par un dispositif adossé à un système de comptabilité des « éléments de valeur environnementale » reconnu et validé à l'échelle européenne. L'agriculture est insérée dans un marché de crédits environnementaux, par lequel des agences publiques ou des entreprises privées achètent des services environnementaux délivrés par les agriculteurs. La forêt bénéficie également d'aides rémunérant les externalités positives qu'elle fournit.

Au niveau national, le ministère en charge de l'agriculture et de la forêt et celui en charge de l'environnement fusionnent en 2025. L'évolution vers de nouveaux modèles de production à plus faible impact environnemental étant maintenant perçue autant comme une nécessité (forte pression réglementaire) que comme une opportunité, l'ensemble des acteurs agricoles et forestiers ainsi que leurs partenaires se mobilisent pour cette transition. Ils tentent d'impulser des changements dans la gouvernance des secteurs agricoles et forestiers, qui évoluent vers plus d'ouverture, des médiations plus fréquentes avec la société et la généralisation de logiques contractuelles. À partir de 2026, le développement agricole est réorganisé sous forme d'un nouveau réseau décentralisé de soutien à l'innovation en matière d'agriculture et d'environnement. La responsabilité sociale et environnementale des entreprises agro-alimentaires et forestières s'accroît et beaucoup de filières s'organisent en conséquence. De nouvelles filières vertes voient le jour : valorisation des productions forestières et bois énergie, production de protéines pour l'alimentation animale (dans le cadre d'un soutien national important aux légumineuses), etc. Les filières développent des filiales régionales adaptées au contexte, s'approvisionnent plus localement, et misent sur la valeur ajoutée et les productions sous labels. Les grandes surfaces accroissent leur offre de produits bio locaux et fondent leur stratégie commerciale sur les produits à faible empreinte écologique, fortement demandés par les consommateurs. Ces derniers, globalement plus « éco-responsables », s'orientent vers des produits locaux et de saison, les labels de qualité et l'agriculture biologique. L'agriculture péri-urbaine et les associations pour le maintien de l'agriculture paysanne (AMAP) se développent fortement, répondant à une recherche de proximité entre producteurs et consommateurs. Un double affichage quasi systématique se met en place « prix producteur/prix consommateur », et la part de l'alimentation dans le budget des ménages s'accroît. L'accès à une alimentation saine et respectueuse de l'environnement est vue comme un indicateur de qualité de vie. Ce mouvement global n'empêche pas de vives tensions sociales, car une partie de la population vit très mal de se voir imposer ce profond changement des modes de production et de consommation. Le choix politique de faire primer l'environnement est même dénoncé par certains comme une « dictature verte » privant la population de certaines libertés individuelles et générant de fortes inégalités sociales.

Pour la forêt, des certifications environnementales exigeantes se développent également. Les demandes en bio-énergies et biomatériaux se renforcent. Selon les régions, on mobilise des ressources forestières et/ou agricoles pour la production de biomasse. Les complémentarités entre agriculture et forêt s'amplifient : agroforesterie, taillis à courte ou très courte rotation, méthanisation et biocarburants de seconde génération, valorisation des haies, etc. Finalement, la multifonctionnalité de l'agriculture et de la forêt nécessite une main-d'œuvre accrue, ce qui induit un fort recours au salariat agricole et forestier. À partir de 2028, le nombre d'agriculteurs se stabilise (et ce jusqu'à 2050) et leurs profils se diversifient sous l'effet d'une augmentation des installations hors cadre familial et d'une offre de formation plus riche et plus transversale. Le niveau de formation en agronomie et en environnement est nettement renforcé dans toutes les formations agricoles et forestières.

Cette transition au niveau de l'Europe ne se fait toutefois pas sans difficultés : le changement de modèle suscite des réticences et des conflits. De nombreux agriculteurs et forestiers maintiennent des positions très conservatrices, une partie de la profession n'étant pas encline à abandonner des systèmes certes intensifs mais économes en temps de travail. Le changement de mentalité ne se fait souvent qu'avec le renouvellement des générations. Les besoins en accompagnement des exploitations et des structures de transformation et distribution des produits sont considérables, pour faire évoluer progressivement les pratiques. En outre, au niveau économique, il est difficile pour l'Europe de soutenir les conséquences d'une concurrence entre pays n'ayant pas les mêmes niveaux d'exigence sociale et environnementale. Les

échanges intracommunautaires s'intensifient. Plusieurs succès industriels dans le domaine des écotecnologies, ainsi que la capacité de l'agriculture et de la forêt à générer des emplois non délocalisables, encouragent toutefois l'Europe à poursuivre sa politique de transition environnementale. Une croissance verte se développe peu à peu et contribue à financer la politique volontariste de l'Europe.

La transition énergétique et environnementale s'engage plus largement (2030-2050)

La transition environnementale européenne éveille l'intérêt d'autres nations, notamment de la Chine qui voit dans les technologies vertes un intérêt commercial et un moteur de croissance importants. On assiste à un effet d'entraînement et d'autres pays montrent leur volonté de réorientation vers une croissance verte. Les ONG environnementales ont un rôle croissant et elles se font davantage entendre dans les instances internationales à partir de 2030. La nécessité de la transition environnementale fait alors progressivement consensus dans les pays développés et émerge dans les pays en développement. Des politiques ambitieuses en termes d'alimentation, d'environnement et d'énergie voient le jour au Nord comme au Sud. Une gouvernance alimentaire se met en place à l'échelle régionale, et ainsi régulé, le système permet de garantir des prix agricoles plus stables et reflétant mieux les coûts de production. En 2032 est créée l'Organisation mondiale de l'environnement et du climat (OMEC). Des objectifs visant à réduire le défrichement des forêts tropicales et à stopper la diminution de la couverture forestière de la planète sont inclus dans des traités climatiques ambitieux, avec des résultats tangibles dès 2037. À partir de 2040, la déforestation est stoppée : les surfaces forestières mondiales se stabilisent grâce à de vastes reboisements destinés à alimenter la demande croissante en bois. Les bio-énergies (notamment biocarburants de deuxième génération) se généralisent et les progrès en matière d'économies d'énergie dans le transport et le bâtiment se traduisent par une baisse de la consommation d'énergies fossiles. Le prix du baril de pétrole se stabilise dès 2035 et diminue légèrement sur la fin de la période.

L'image en 2050

En 2050, l'objectif de la Feuille de route européenne (réduction de 80% des émissions de gaz à effet de serre par rapport à 1990) est presque atteint. La biomasse (bois, méthanisation, biocarburants de seconde génération) fournit alors 45% des besoins en énergie primaire en Europe. En France, le pétrole ne représente plus que 10% de la consommation énergétique finale (contre 41% en 2010) ; 80% des exploitations agricoles sont certifiées HVE au niveau 3. La vocation multifonctionnelle de l'agriculture et de la forêt domine largement la vocation exportatrice. Ces secteurs complémentaires sont pleinement vecteurs de développement territorial, de création d'emplois et d'aménités en zone rurale, et contribuent à atténuer le changement climatique. Les prix agricoles et forestiers sont assez élevés mais restent stables. L'étalement urbain est contenu et la part de néo-ruraux a augmenté, avec l'essor du télétravail et l'engouement pour le tourisme vert. La prospérité est fondée sur de nouveaux critères : le capital naturel est placé sur le même rang que le PIB dans la comptabilité des États et l'évaluation environnementale s'est imposée en amont de toute prise de décision publique.

3.2. CROISEMENT ENTRE SCÉNARIOS DE CONTEXTE SOCIO-ÉCONOMIQUE ET OPTIONS D'ADAPTATION

Le croisement entre scénarios de contexte socio-économique et options d'adaptation vise à réfléchir aux freins et aux moteurs à la mise en œuvre d'une stratégie d'adaptation. Pour cela, le groupe de prospective a travaillé en ateliers lors d'une séance dédiée. Pour chaque étude de cas, les quatre scénarios de contexte ont été successivement associés à l'option d'adaptation qui semblait la plus probable et la plus cohérente, et ces associations ont été discutées et argumentées. Nous présentons ci-dessous les principales caractéristiques des études de cas puis les croisements obtenus dans les secteurs végétal, animal puis forestier.

Productions végétales

Cinq études de cas ont été consacrées aux productions végétales. Trois d'entre elles sont des cultures annuelles : l'une est à dominante de cultures d'hiver, une autre concerne les cultures industrielles (notamment la betterave sucrière) et la troisième concerne le maïs. Les deux autres études s'intéressent à des cultures pérennes : arboriculture fruitière (pompes) et viticulture (Beaujolais). Ces cinq études de cas se situent dans des régions variées et donc dans des contextes climatiques contrastés : du climat méditerranéen à fort ensoleillement et répartition des pluies hétérogène, au climat semi-continentale des monts du Beaujolais avec une multitude de microclimats, en passant par le climat océanique du Grand Ouest, doux et relativement humide (700 mm de pluie par an), ce qui n'empêche pas l'existence de tensions sur l'eau marquée dans les études de cas des Landes et du Cher.

Le changement climatique produit des effets très différenciés d'une étude de cas à l'autre. Ainsi, l'augmentation des températures peut diminuer les risques de gelées au printemps (favorable à l'arboriculture fruitière dans le Vaucluse par exemple) et augmenter le potentiel de rendement (favorable aux cultures industrielles en Picardie par exemple), tandis que la diminution des précipitations estivales peut accroître le déficit hydrique des cultures (défavorable au maïs dans les Landes par exemple). En viticulture, le changement climatique pourrait accroître les rendements mais modifier la qualité du vin. Selon les productions et selon les critères, le changement climatique peut donc représenter une opportunité ou une menace. Il est par ailleurs associé à de fortes incertitudes concernant l'évolution des risques phytosanitaires. En conséquence, on peut imaginer que les exploitants agricoles seront amenés à modifier leur conduite des cultures, en décalant par exemple les cycles culturaux pour les cultures annuelles, pour éviter des stress hydriques ou pour tirer parti des moindres risques de gelée. Les agriculteurs pourraient également adapter leurs techniques de travail du sol dans le but de réduire l'évaporation et de maintenir l'humidité des sols. De nombreuses options d'adaptation identifiées au cours de l'exercice reposent également sur une modification de l'utilisation de l'eau : recours à davantage d'eau et/ou amélioration de l'efficacité de l'irrigation. Enfin, dans les cas où les systèmes actuels semblent nécessiter une adaptation plus conséquente, les agriculteurs pourraient modifier leurs productions soit en diversifiant soit en réorientant les productions actuelles.

D'après notre analyse, ces adaptations pourraient répondre à différents types de logiques : d'un côté, les moteurs de ces changements relèvent de l'optimisation de l'utilisation des ressources afin de répondre à une demande alimentaire croissante, à un besoin de sécurisation des rendements et à un impératif de compétitivité-coût (miser sur les avantages comparatifs des systèmes). D'un autre côté, ces changements sont dus à la recherche d'une autonomie productive sur l'exploitation, d'une diversification des activités et d'une amélioration de la résilience du système de production.

Ainsi, nous avons pu distinguer trois grandes familles de stratégies d'adaptation concernant les productions végétales :

1) Garantir les rendements grâce à l'irrigation

Cette stratégie consiste en une valorisation de la hausse des températures engendrée par le changement climatique et permettant potentiellement d'accroître les rendements. Elle repose sur le développement de l'irrigation et de nouvelles variétés résistantes à la sécheresse. Cette stratégie existe dans toutes les études de cas (A1, CI2, GC2, M1, V2) et est déployée dans les scénarios « Métropolisation et consumérisme » et « Libéralisation et priorité à la production ». Elle vise l'optimisation de l'utilisation des ressources disponibles pour une sécurisation voire une maximisation des rendements, en réponse à une demande de gros volumes. Au-delà de la question de la disponibilité des ressources, se pose celle des arbitrages sur leur répartition entre les usages de l'eau. Cette stratégie repose en effet sur la condition forte que ces arbitrages soient favorables à l'agriculture, dans un contexte de réduction globale des ressources disponibles.

2) Limiter ou esquiver les stress hydriques

Cette stratégie consiste à adapter les pratiques culturales pour éviter un risque de stress hydrique sur les cultures. Il s'agit par exemple de changer de cépage (V3) ou de décaler les dates de semis et les cycles culturaux (GC1) pour que les besoins des cultures coïncident avec la disponibilité en eau, ou encore

d'utiliser des variétés résistantes au risque d'échaudage (C11 par exemple). Les techniques de l'agriculture de conservation visant à préserver l'humidité du sol par des couverts végétaux relèvent d'une logique similaire (C13). Mobilisée dans les scénarios « Libéralisation et priorité à la production » et « Transition énergétique et environnementale », cette stratégie engendre des degrés de changement très variables au sein de l'exploitation agricole (du décalage de la date de semis à la reconception du système), mais vise dans tous les cas une sécurisation des rendements face au risque de déficit hydrique. Dans cet exercice, nous nous sommes essentiellement focalisés sur le stress hydrique, compte tenu des connaissances disponibles. Mais il convient évidemment, dans l'élaboration de stratégies d'adaptation, de prendre en compte les autres formes de stress biotiques et abiotiques.

3) Diversifier voire réorienter les productions

Cette stratégie consiste à diversifier les productions afin de diversifier les sources de revenus au sein de l'exploitation. Le but des options d'adaptation relevant de cette stratégie (A2, GC3, M2) n'est pas de maintenir les volumes de production mais d'améliorer la résilience du système. Cette stratégie est utilisée dans plusieurs scénarios et vise une minimisation des impacts du changement climatique, en partant du principe qu'ils seront très aléatoires. Cette stratégie peut aller jusqu'à réorienter le système de production vers des cultures supposées moins sensibles aux effets du changement climatique. Cette alternative serait mobilisée dans des situations où l'on juge que le système de production peut difficilement s'adapter en raison d'obstacles importants (difficultés économiques, ressource en eau insuffisante, fragilité de la filière, etc.). La réorientation de production peut donc résulter soit d'une forte mise en concurrence et d'un manque de compétitivité de l'exploitation, soit d'une montée en puissance des exigences environnementales et d'un manque de ressources en eau pour l'exploitation.

Pour chacune des cinq études de cas en productions végétales, chaque scénario de contexte socio-économique a été associé à l'une des options d'adaptation, lors d'un atelier dédié et à « dire d'experts ». Ces associations sont présentées et argumentées dans le tableau n° 2.

Tableau n° 2. Options d'adaptation et scénarios de contexte pour les études de cas en production végétale

Étude de cas	Scénario	Option d'adaptation	Liens scenario – option
Grandes cultures (Cher) N° 5	S1	GC2. Développer l'irrigation pour accroître les rendements	La forte demande urbaine appelle une production agricole importante. Dans une logique utilitariste, la question des impacts environnementaux n'est pas au premier plan. Les faibles tensions sur l'énergie, les prix agricoles élevés et la recherche de compétitivité incitent à exploiter un potentiel de production élevé grâce à l'irrigation.
	S2	GC2. Développer l'irrigation pour accroître les rendements	Des causes similaires aboutissent aux mêmes conclusions que pour le scénario S1 (ci-dessus). On cherche à sécuriser les volumes de production grâce à l'irrigation. A nuancer dans le cas de prix agricoles très volatils.
	S3	GC1. Esquiver le stress hydrique en décalant le cycle des cultures et introduire des cultures dérobées	Le fort potentiel de production repose essentiellement sur un assolement « traditionnel » colza blé orge auquel s'ajoute, à la marge, quelques cultures de diversification et des dérobées – si les précipitations en début d'été sont suffisantes. Ces dernières peuvent faire l'objet d'une valorisation énergétique dans le cadre d'une politique régionale dédiée.
	S4	GC3. Améliorer la résilience en diversifiant les cultures et en adoptant des techniques de conservation	Dans ce scénario, la multifonctionnalité est au cœur des objectifs assignés au secteur agricole et des politiques publiques volontaristes incitent à adopter des pratiques respectueuses de l'environnement.
Mais irrigué (Landes) N° 11	S1	M2. Diversifier l'assolement face à la contrainte hydrique et réserver l'irrigation aux cultures rémunératrices	Les préoccupations « utilitaristes » du consommateur et du producteur relèguent les enjeux environnementaux au second plan. Les cultures irriguées sont maintenues, en optimisant toutefois l'usage de l'eau.
	S2	M1. Augmenter les rendements en utilisant de nouvelles variétés et en mobilisant davantage d'eau	En l'absence de contraintes sur les volumes d'eau, la priorité donnée à la production, avec une vocation à l'export, incite à sécuriser les rendements grâce à l'irrigation. Cette option peut toutefois sembler être une impasse compte tenu des arbitrages qui semblent nécessaire à long terme sur l'usage de l'eau.
	S3	M3. Abandon de la production de maïs et réorientation vers des cultures économes ou des usages non agricoles	Les tensions régionales sur la ressource en eau et les arbitrages rendus sur son usage contraignent à un très fort recul de l'irrigation. Les politiques locales incitent à s'adapter notamment en remplaçant le maïs irrigué par du sorgho et des légumes. La conversion de certaines terres vers un usage énergétique semble aussi envisageable.
	S4	M3. Abandon de la production de maïs et réorientation vers des cultures économes ou des usages non agricoles	Le maintien d'importantes surfaces irriguées est devenu incompatible avec les exigences environnementales désormais mises en avant. Des cultures économes en eau, prioritairement alimentaires se développent en remplacement du maïs.
Cultures industrielles (Somme) N° 1	S1	CI2. Mettre en place de l'irrigation d'appoint	La disponibilité de l'eau en Picardie permet le développement d'une irrigation d'appoint afin de lisser les variations de rendement et ainsi sécuriser l'offre pour l'alimentation des citadins. Les cultures à forte valeur ajoutée compensent le coût de l'irrigation.
	S2	CI2. Mettre en place de l'irrigation d'appoint	Le recul des politiques publiques et la libéralisation des échanges entraîne une forte restructuration du secteur agricole en faveur des exploitations de taille économique importante. Ces dernières ont les moyens d'investir dans l'irrigation pour exploiter le haut potentiel de rendement des variétés qu'elles utilisent.
	S3	CI2. Mettre en place de l'irrigation d'appoint	Dans le cadre d'une politique régionale visant à implanter sur le territoire une filière d'export de cultures à forte valeur ajoutée, le recours à l'irrigation est favorisé.
	S4	CI3. Développer des pratiques d'agriculture de conservation	Les demandes sociétales et les politiques publiques incitent à développer des pratiques respectueuses de l'environnement.

Étude de cas	Scénario	Option d'adaptation	Liens scenario – option
Arboriculture (Vaucluse) N° 12	S1	A1. Investir dans l'irrigation de précision sans changer l'orientation principale	Les exigences forte de traçabilité de la part des consommateurs pour des raisons de santé, incitent à privilégier des fruits d'origine française. Pour des raisons nutritionnelles et de santé, la demande en fruits augmente et des politiques locales en subventionnent la production, permettant ainsi de financer des investissements dans l'irrigation de précision.
	S2	A3. Adaptation faible du verger, difficultés majeures et potentielle disparition de l'exploitation	Dans un contexte de libéralisation croissante, le coût de la main d'œuvre pèse trop fortement sur la compétitivité de l'exploitation face aux importations. Un taux d'endettement trop élevé menace la viabilité de l'exploitation.
	S3	A2. Améliorer la résilience aux aléas climatiques en adaptant la conduite du verger et en renforçant la part du blé	La région choisit de soutenir une filière locale pourvueuse d'emploi en mettant en place une politique volontariste d'incitations à l'adoption de pratiques résilientes face au changement climatique.
	S4	A2. Améliorer la résilience aux aléas climatiques en adaptant la conduite du verger et en renforçant la part du blé	La diversification et les techniques d'agroforesterie s'inscrivent dans la logique d'une diminution des impacts environnementaux et la recherche de multifonctionnalité.
Viticulture (Beaujolais) N° 7	S1	V3. Changer de cépage pour une variété adaptée au stress hydrique au détriment de l'AOC	Les consommateurs citadins accordent peu d'importance aux terroirs, l'AOC est donc abandonnée pour mieux s'adapter au climat. La production est maintenue mais la consommation de vin est en baisse, pour des considérations de santé.
	S2	V2. Miser sur les rendements avec le développement de l'irrigation, ou ; V3. Changer de cépage pour une variété adaptée au stress hydrique au détriment de l'AOC	On se place dans la situation où la consommation de vin diminue fortement en France. Si les marchés à l'étranger deviennent suffisamment important (en Chine notamment), alors l'exploitant choisit d'augmenter sa production grâce à l'irrigation (V2). Dans le cas contraire, il change de cépage et abandonne l'AOC (V3).
	S3	V3. Changer de cépage pour une variété adaptée au stress hydrique au détriment de l'AOC, ou ; V4. Réorientation vers d'autres cultures (fruits secs, cultures énergétiques) voire boisement	Le changement climatique rend l'avenir économique du Beaujolais incertain. Le secteur viticole peut alors être amené à disparaître localement, si la région ne le considère pas comme stratégique (V4). Dans le cas contraire, le secteur est soutenu dans le but de valoriser une spécificité de la région et d'en exporter les produits (V3).
	S4	V4. Réorientation vers d'autres cultures (fruits secs, cultures énergétiques) voire boisement	Devenue difficilement conciliable avec des objectifs environnementaux (érosion des sols, irrigation nécessaire...), l'activité viticole est abandonnée. Elle est remplacée par des cultures à visée énergétique, pour accompagner la transition dans ce domaine.
S1 : Métropolisation et consumérisme – S2 : Libéralisation et priorité à la production – S3 : Mosaïque de territoires et d'acteurs – S4 : Transition énergétique et environnementale			

Productions animales

Quatre études de cas ont été consacrées aux productions animales dans le cadre de cet exercice. Trois d'entre elles sont des élevages bovins, l'un spécialisé en production laitière, l'autre en production viande et le troisième ayant une production mixte lait et céréales. La quatrième étude de cas est un système de production d'ovins viande. Ces quatre cas se situent dans des contextes climatiques variés, allant de l'influence océanique forte à de la plaine en passant par de la moyenne et haute montagne. Les effets du changement climatique sur le régime des précipitations, les températures disponibles et leur saisonnalité y sont également assez différenciés, avec la particularité d'engendrer pour les systèmes de production des évolutions dans certains cas défavorables et dans d'autres favorables.

Concrètement, cela se traduit dans les cas étudiés par trois effets majeurs du changement climatique incitant à des actions d'adaptation. En premier lieu, la modification du régime de pousse de l'herbe, avec une production plus abondante en automne et au printemps alors qu'elle est déficitaire en été, impacte d'autant plus fortement les systèmes qu'ils dépendent du pâturage. Ensuite, la situation des autres cultures fourragères, en particulier le maïs dont l'emploi peut devenir plus favorable dans certaines zones et peut être mis à mal dans d'autres, modifie les rations alimentaires du bétail. Enfin, la possibilité de réaliser de nouvelles cultures peut amener à modifier la structure des différentes productions. En conséquence, les actions d'adaptation peuvent passer par une modification de la gestion du troupeau, avec décalage des périodes de pâturage et des cycles de reproduction. La gestion des stocks fourragers pourrait également être adaptée en conséquence. Cela peut également inciter dans certains cas à revoir la composition de la ration alimentaire, en particulier l'équilibre entre ressources herbacées et les autres fourrages. Enfin, le poids relatif des ateliers cultures et élevage dans le système de production peut se trouver modifié.

Ces changements pourraient être guidés par la réponse aux enjeux essentiels que sont le maintien de la compétitivité, donc du revenu des exploitants, la continuité de l'occupation des territoires ou encore la préservation de services environnementaux. Face à cela d'autres facteurs peuvent peser fortement sur les choix des agriculteurs, à commencer par le prix des céréales, l'exposition à la concurrence internationale sur le marché des produits animaux ou bien encore le niveau de la demande alimentaire, que ce soit en termes de quantité ou de qualité (signes officiels de la qualité et de l'origine – SIQO –, labels et chartes privés, etc.). Suivant la prégnance plus ou moins importante de chacun de ces facteurs dans les scénarios de contexte établis, on peut imaginer quatre types de stratégies d'adaptation au changement climatique :

1) Optimisation fourragère

Cette stratégie consiste en une valorisation maximale du surplus d'herbe engendré dans certains cas par le changement climatique, sous l'hypothèse forte que la qualité des fourrages reste comparable. Elle est permise par un décalage des périodes de pâture et une maîtrise accrue de la reproduction. Déployée pour les quatre études de cas (options BL1, BA1, O1, PE1) dans le scénario « Métropolisation et consumérisme », elle vise, sans changement majeur, à maintenir la compétitivité du système à flots pour satisfaire la demande alimentaire urbaine.

2) Diversification et autonomie

Cette stratégie consiste principalement en un renforcement de l'autonomie fourragère à l'échelle de l'exploitation ou de la petite région. Elle repose sur un élargissement du spectre des espèces cultivées, incluant notamment des cultures résistantes à la sécheresse, et elle s'accompagne d'une réorientation plus céréalière des systèmes d'élevage très spécialisés (options BL2, BA3, BA2 PE3). Déployée dans le cadre des quatre scénarios de contexte, elle vise à se prémunir des risques climatiques et à diminuer la dépendance vis-à-vis des marchés mondiaux. La valorisation économique d'une bonne image auprès des consommateurs, permise par une diminution des impacts environnementaux, peut également être un motif de choix de cette stratégie.

3) Réorientation et spécialisation

Cette stratégie consiste en une réorientation assez radicale de certains élevages vers des systèmes céréaliers spécialisés là où les opportunités climatiques le permettent (options BL3, PE4). Elle est déployée dans les scénarios « Libéralisation et priorité à la production » et « Mosaïque de territoires et d'acteurs ». Cette stratégie est clairement motivée par un mouvement de ciseau, avec d'un côté l'attraction de prix des céréales durablement rémunérateurs et de l'autre le manque de perspectives de l'activité d'élevage, liée en partie à la disparition annoncée des quotas laitiers et, de manière générale, à l'ouverture totale des marchés.

4) Extensification

Cette stratégie consiste à maintenir une large occupation du territoire par l'activité d'élevage. Elle repose sur l'acceptation d'une diminution de la production, avec une baisse sensible du chargement à l'hectare mais aussi de l'utilisation d'intrants (principalement engrais et compléments alimentaires), toutefois compensée par une meilleure valorisation des produits à l'image « verte » et/ou le versement de soutiens publics pour les services environnementaux rendus (options BA4, O3). Elle est logiquement déployée principalement dans le cadre du scénario « Transition énergétique et environnementale », mais aussi dans celui de « Libéralisation » dans lequel la concurrence des pays tiers pourrait conduire les éleveurs français à changer de segment de marché et donc de stratégie.

Pour chacune des quatre études de cas en productions animales, chaque scénario de contexte socio-économique a été associé à l'une des options d'adaptation, lors d'un atelier dédié et à dire d'experts. Ces associations sont présentées et argumentées dans le tableau n° 3.

Tableau n° 3. Options d'adaptation et scénarios de contexte pour les études de cas en production animale

Étude de cas	Scénario	Option d'adaptation	Liens scenario – option
Bovin lait (Côtes d'Armor) N° 3	S1	BL1. Valoriser le surplus hivernal d'herbe et ensiler une partie des céréales pour compléter la ressource fourragère	Pour satisfaire la demande en produits laitiers en augmentation (mode de consommation citadin), le système est adapté à la marge pour maintenir les volumes de production. La fin du régime des quotas a entraîné la disparition des élevages laitiers français situés dans les zones les moins productives (espaces de transition) ouvrant de nouveaux débouchés aux éleveurs bretons, tout en les obligeant à renforcer leur compétitivité face aux autres producteurs européens (Pays-bas, Danemark, Allemagne).
	S2	BL3. Diminuer la spécialisation laitière par le développement des cultures de vente céréalières	Une «céréalisation» de l'exploitation ne peut avoir lieu que dans un scénario où les prix de céréales sont élevés, tirés par les exportations sur un marché mondial de plus en plus tendu en raison de la demande croissante des pays émergents. La poursuite de la libéralisation du secteur agricole (fin des quotas) va de pair avec un agrandissement des structures et l'on peut imaginer une mise en commun des cheptels laitiers « résiduels » entre exploitations de la région.
	S3	BL3. Diminuer la spécialisation laitière par le développement des cultures de vente céréalières	Face au repli des échanges mondiaux et la forte régionalisation qui a lieu en France, la Bretagne cherche à renforcer l'autonomie de son agriculture, notamment en ce qui concerne l'alimentation du bétail. Ainsi, l'exploitation se tourne vers un système de polyculture élevage avec des céréales en partie auto-consommées et également vendues aux élevages de monogastriques proches.
	S4	BL2. Développer les cultures fourragères résistantes à la sécheresse, comme les prairies multi-spécifiques Ou BL1. Valoriser le surplus hivernal d'herbe et ensiler une partie des céréales pour compléter la ressource fourragère	En diminuant la part du maïs dans son assolement et en renforçant l'autonomie de son système, l'agriculteur cherche à réduire ses impacts environnementaux. Il utilise de nouvelles variétés, plus résistantes à la sécheresse, moins gourmandes en nutriments récemment mises au point par la recherche agronomique. La valorisation du surplus hivernal permet de substituer de l'herbe pâturée à du maïs, avec donc moins d'intrants et donne la possibilité d'offrir une image du produit plus en phase avec les attentes du consommateur.
Bovins allaitant (Creuse) N° 9	S1	BA1. Mettre en place deux périodes de vêlage pour résoudre le déficit d'herbe en été	Pour continuer à approvisionner les marchés urbains de plus en plus demandeurs de produits carnés, l'exploitation poursuit son mode de conduite actuelle sans grande adaptation. Légère incohérence entre une production plutôt axée sur la quantité et une demande très attentive à la qualité.
	S2	BA2. Introduire des cultures fourragères à stocks pour faire face aux aléas climatiques	Pour rester compétitif dans une économie de plus en plus libéralisée, la production reste très liée à la filière italienne d'engraissement, tout en s'intensifiant par l'introduction de cultures à stock. L'adaptation est peu importante et est cohérente avec un contexte général peu remis en cause.
	S3	BA3. Développer et réorienter l'élevage (engraissement ou production laitière) avec le maïs irrigué	La diminution des échanges internationaux, ainsi qu'une politique régionale forte, incite les agriculteurs à assurer la totalité de la chaîne de production - transformation - commercialisation sur le territoire pour générer des emplois et du revenu. L'engraissement en Limousin nécessite alors plus de maïs irrigué, les besoins en eau sont assurés par la création d'infrastructures, sans considérations cependant de l'impact de prélèvements importants sur l'aval des cours d'eaux situés dans d'autres régions.
	S4	BA4. Extensifier l'élevage et développer une production sous signe de qualité	L'extensification est propice à une baisse de l'impact environnemental, voire à une fourniture de services environnementaux, pouvant être rémunérés par des instruments de politique publique dans ce scénario. La production de veau de qualité trouvera pour déboucher la demande de produits sains et de qualité de la part des consommateurs.

Étude de cas	Scénario	Option d'adaptation	Liens scénario – option
Ovin viande (Hautes Pyrénées) N° 14	S1	O1. Mieux valoriser les estives par la maîtrise accrue de la reproduction	La pression d'urbanisation de plus en plus forte en plaine ne permet plus une production de fourrages importante sur ces territoires. L'élevage des ovins doit miser un maximum sur les estives et valoriser au mieux la ressource fourragère qui y est disponible. Les consommateurs urbains sont demandeurs d'agneaux de qualité (AOC) mais ne sont pas prêts à céder leur espace de vie pour cette production.
	S2	O3. Réorientation vers l'élevage bovin extensif (ranching) face à l'augmentation du prix des céréales	Avec la libéralisation des marchés, la totale liberté de circulation des biens agricoles expose la production ovine française à la concurrence internationale accrue (Nouvelle-Zélande, Australie, etc.). Face à des modes de production beaucoup plus compétitifs, l'élevage ovin montagnard est condamné à disparaître dans les Pyrénées. Les zones extensives laissées libres sont alors occupées par un mode d'élevage bovin très extensif, de type « ranching ».
	S3	O2. Vers un élevage hors sol en plaine pour pallier au manque d'herbe en hiver	Entre concurrence et coopération inter régionale, les Hautes pyrénéennes font le choix d'intensifier la production ovine pour gagner en compétitivité surtout face aux autres régions françaises. La production est parallèlement mise à l'abri de la concurrence internationale par le phénomène de « repli » et la diminution importante des échanges mondiaux. Pour assurer l'approvisionnement en aliments du bétail, alors que les estives sont délaissées, la région développe des partenariats avec les bassins céréalières.
	S4	O3. Réorientation vers l'élevage bovin extensif (ranching) face à l'augmentation du prix des céréales Ou O1. Mieux valoriser les estives par la maîtrise accrue de la reproduction	Les paiements pour services environnementaux désormais mis en place permettent d'assurer la rentabilité de modes d'élevage très extensifs. Leur rôle pour la préservation d'espaces riches en biodiversité est reconnu. Cette activité d'élevage est désormais menée plus dans une optique conservatoire que productive. Ou Pour maintenir les milieux d'altitudes ouverts, qui sont reconnus pour leur valeur patrimoniale et environnementale, le producteur maintient son mode d'élevage actuel basée sur la ressource fourragère des estives en adaptant sa gestion du troupeau aux nouvelles contraintes dues au changement climatique. Le pastoralisme est soutenu par des financements publics.
Polyculture élevage (Meuse) N° 2	S1	PE1. Maintenir la production fourragère en optimisant les techniques culturales	Sans contraintes ni opportunités déterminantes, l'exploitant maintient son système en l'adaptant à la marge pour le sécuriser. Dans un contexte où les soutiens à l'agriculture sont en baisse il cherche toutefois à optimiser son fonctionnement pour rester compétitif.
	S2	PE4. Abandonner la production laitière pour privilégier les cultures de ventes, dont le maïs grain	La demande mondiale en céréales est croissante et les prix élevés poussent à abandonner la production laitière pour se consacrer aux cultures. La fin des quotas laitiers et le mouvement général de spécialisation des exploitations incite également à aller dans ce sens. Le recours accru au maïs et l'intensification de la production ont des impacts négatifs sur l'environnement, sans toutefois constituer une source de préoccupation puisque la priorité est donnée à la capacité exportatrice de la « ferme France ».
	S3	PE2. Intensifier la production laitière et développer la méthanisation par le recours accru au maïs (ex PE3)	La régionalisation poussée à l'extrême incite les régions à renforcer leur autonomie énergétique. La Lorraine met en place une politique forte de soutien aux énergies renouvelables dont la méthanisation. Les aides à l'investissement importantes permettent à l'exploitant d'installer son unité. Des échanges de technologies on lieu avec des exploitants allemands où le développement de la méthanisation à la ferme est déjà très avancé.
	S4	PE3. Diversifier les assolements et augmenter l'autonomie en protéines (ex PE2)	Le système se tourne vers plus d'autonomie et diminue son impact environnemental. L'utilisation de variétés plus performantes de protéagineux et de soja est permise par une réorientation de la recherche.
S1 : Métropolisation et consumérisme – S2 : Libéralisation et priorité à la production – S3 : Mosaïque de territoires et d'acteurs – S4 : Transition énergétique et environnementale			

Forêt

Cinq études de cas portaient sur la production forestière dans le cadre de la prospective AFCLim. Elles ont été choisies pour couvrir une diversité d'objectifs de gestion (production, protection, aménités), d'essences forestières et de types de propriétaire (public ou privé). Deux d'entre elles portent sur des forêts où l'objectif de production est prépondérant (pin maritime et Douglas), deux autres sont des forêts domaniales dans lesquelles l'objectif de production est plus ou moins marqué et se conjugue avec d'autres enjeux forts (protection dans le cas de la sapinière méditerranéenne, biodiversité dans le cas de la chênaie du bassin de la Loire). La dernière est une forêt privée dont la gestion est patrimoniale. Ces cinq études de cas se situent dans des contextes pédoclimatiques variés, allant du climat méditerranéen sec à des contextes de moyenne montagne nettement plus humides, en passant par des zones de plaine à influence océanique.

Les effets du changement climatique sur le régime des précipitations, les températures et les périodes de sécheresse sont également assez différenciés, avec la particularité d'engendrer dans presque tous les cas étudiés des effets défavorables plus ou moins marqués sur les essences forestières en place. Ces effets négatifs sont dus principalement à l'accroissement de la fréquence et de la durée des épisodes de sécheresse. La diminution du confort hydrique pourrait également rendre les arbres plus sensibles aux ravageurs. S'y ajoute généralement une forte augmentation du nombre de jours favorables au départ de feu. Selon les contextes et les essences, ces effets se traduiront par une diminution pouvant être assez forte de la productivité des forêts, voire par des dépérissements importants.

Face à cette situation, les actions à engager peuvent passer par une adaptation des pratiques sylvicoles visant à atténuer les effets de la sécheresse. Il est également envisageable de remplacer les peuplements en place par une nouvelle essence mieux adaptée aux conditions climatiques futures. Cette substitution peut être soit progressive en favorisant la nouvelle essence objectif lors de la régénération naturelle, soit plus pro-active par des plantations sur tout ou partie des forêts. Enfin, les effets du changement climatique pourraient dans certains cas conduire à des changements plus profonds des modes et des objectifs de gestion des forêts. Le choix des propriétaires et des gestionnaires forestiers entre ces différents leviers pourrait dépendre de la rentabilité actuelle et future de la production forestière (qui sera affectée par le changement climatique) et des investissements déjà réalisés ou à prévoir. Dans le contexte de la transition énergétique et climatique, les politiques publiques pourraient également jouer un rôle, par exemple pour aider certains investissements ou pour rémunérer et ainsi pérenniser certaines fonctions non marchandes des forêts. Enfin, la capacité des acteurs à anticiper correctement les effets du changement climatique devrait constituer un facteur clé de passage à l'acte en termes d'adaptation.

Globalement, dans les cinq cas étudiés ici, il nous semble possible de distinguer trois grands ensembles d'options d'adaptation aux effets du changement climatique.

1) Attentisme et sylviculture adaptative

Cette stratégie correspond à des situations ayant complètement ou partiellement les caractéristiques suivantes : des investissements importants ont déjà été réalisés, la durée de rotation des essences concernées est relativement courte, les effets du changement climatique sont modérés ou incertains du point de vue du gestionnaire. Il s'agit donc d'une situation de dépendance à la trajectoire dans laquelle le gestionnaire espère ou anticipe des impacts limités (voire des opportunités), qui pourraient être de plus partiellement atténués (ou exploités) par une adaptation des pratiques sylvicoles (options PM1, S1, D1, H1). Cette stratégie apparaît dans presque toutes les études de cas, à l'exception de la chênaie pédonculée ligérienne qui est d'ores et déjà touchée par des phénomènes de dépérissements. Cette stratégie se justifie dans la mesure où les produits de cette sylviculture restent adaptés à la demande des marchés.

2) Forte diversification des essences et zonage

Cette seconde stratégie repose sur une diversification forte des essences permettant de réduire la sensibilité aux aléas climatiques. Cette diversification intervient le plus souvent dans des zones précises au sein de la forêt, qu'il s'agisse de limiter les investissements productifs aux zones qui semblent les plus favorables et les moins exposées aux effets du changement climatique (options C1, PM2) ou bien à l'inverse de traiter les zones de dépérissements des essences en place (options D3, H2, S3). Cette

stratégie nécessite une vraie réflexion systémique amont-aval pour développer des filières de valorisation des nouvelles essences introduites. Elle ne peut donc pas être individuelle mais relève d'une action collective volontariste.

3) Changement profond des objectifs et du modèle sylvicole

Un dernier ensemble d'options d'adaptation correspond à des situations de modifications drastiques des objectifs de gestion et/ou de modèle sylvicole. Il s'agit le plus souvent d'un abandon de toute gestion productive de la forêt étudiée compte tenu de la dégradation de sa rentabilité et/ou des fortes incertitudes qui peuvent décourager les investissements (options H3, PM3, S2). Mais il peut s'agir également de saisir des opportunités ouvertes par la possibilité d'exploiter de nouvelles essences ou de viser de nouveaux débouchés, par exemple par l'introduction de résineux (options D3, C3). Dans les deux cas, de forts impacts sont à attendre sur le développement des territoires concernés.

Pour chacune des cinq études de cas en forêt, chaque scénario de contexte socio-économique a été associé à l'une des options d'adaptation, lors d'un atelier dédié et à dire d'experts. Ces associations sont présentées et argumentées dans le tableau n° 4.

Tableau n° 4. Options d'adaptation et scénarios de contexte pour les études de cas forêt

Étude de cas	Scénario	Option d'adaptation	Liens scénario – option
Pin maritime (Landes) N° 10	S1	PM3. Modification brutale du paysage forestier	Le désintérêt pour la forêt, l'absence d'aides à l'investissement et le manque de visibilité pour les propriétaires forestiers, auxquels s'ajoute une forte pression sur le foncier (urbanisation, agriculture) conduisent à l'abandon de la sylviculture.
	S2	PM2. Diversification des essences et diminution de la durée des rotations	Maintien d'un objectif de production dans un contexte économique porteur, à condition que le propriétaire ait la volonté et les moyens de réaliser les investissements nécessaires (plus facile dans le cas d'un investisseur institutionnel disposant de fonds propres).
	S3	PM1 ou PM2	L'organisation politique et économique des acteurs étant essentiellement locale dans ce scénario, elle pourrait conduire à un certain conservatisme et à la reconduite de l'existant. Les structures et les systèmes en place priment sur l'anticipation ou l'innovation, sauf en cas d'attitude très pro-active et d'accompagnement fort par les collectivités territoriales (on s'orienterait alors plutôt vers l'option 2).
	S4	PM1. Maintien du pin maritime dans une démarche de prévention des risques	C'est l'option qui semble offrir le meilleur compromis entre production de bois, biodiversité et gestion des risques.
Chêne (Bassin de la Loire) N° 6	S1	C2. Différenciation des fonctions avec maintien des investissements dans les zones favorables	Le désengagement progressif de l'État limite les possibilités d'investissements, qui restent cependant rentables dans certaines parties de la forêt. La demande urbaine d'aménités et d'espaces de loisir conduit à rechercher le maintien d'un couvert boisé dans les zones de dépérissements du chêne.
	S2	C3. Substitution d'essences et réduction de la durée de rotation (bois énergie)	Dans ce scénario, il est probable que cette forêt soit créée par l'État à des investisseurs privés. Ces derniers privilégient l'objectif de production et une sylviculture très dynamique permettant de rentabiliser les investissements réalisés. Les prix de l'énergie élevés favorisent le développement du bois énergie.
	S3	C2. Différenciation des fonctions avec maintien des investissements dans les zones favorables	La production forestière est un atout pour le territoire, justifiant une attitude pro-active en termes d'adaptation et des investissements productifs soutenus par les collectivités territoriales.
	S4	C1. Remplacement du chêne pédonculé par du chêne sessile et diversification en résineux (pin maritime)	L'attention portée à l'environnement conduit à privilégier la régénération naturelle, une sylviculture adaptative et le maintien des peuplements à forte valeur patrimoniale. Dans les zones dégradées, la valorisation du carbone encourage la production de pin maritime.
Sapinière (Méditerranée) N° 13	S1	S1. Maintien du système actuel et mise en place de pratiques sylvicoles adaptatives	Dans ce scénario, on peut imaginer que cette forêt devienne au moins en partie un espace naturel de proximité. L'objectif principal devient donc l'accueil du public, ce qui correspond à une variante de l'option 1 : gestion adaptative en limitant les interventions, sans les investissements productifs envisagés.
	S2	Abandon de la forêt	Aucune des options envisagées ne convient dans ce scénario. En effet, cette forêt présente à la fois des coûts d'entretien et d'exploitation élevés, une faible rentabilité de sa production et une forte sensibilité au changement climatique. En l'absence d'intervention publique nationale ou locale, il est très probable qu'elle soit laissée à l'abandon.
	S3	S2. Maintien du sapin de façon disséminée et diversification des essences	La production forestière n'est pas un secteur majeur de l'économie locale et il est donc probable que l'on s'oriente vers cette option qui permet des investissements limités et progressifs. La préservation du paysage et la gestion du risque incendie justifient ces investissements qui permettent de maintenir un couvert boisé entretenu.
	S4	S3. Abandon du sapin et substitution par des sapins méditerranéens et du cèdre	Les objectifs ambitieux d'atténuation du changement climatique et la volonté des préservation des paysages justifient des investissements importants et une attitude pro-active pour l'adaptation de cette forêt.

Forêt de Douglas (Limousin) N° 8	S1	D2. Gestion des dépérissements avec maintien du douglas	Le propriétaire forestier est laissé à lui-même et ses investissements productifs ont déjà été faits en grande partie. Il est donc très peu probable qu'il y ait un changement profond de ses objectifs. En revanche, le manque de visibilité et d'accompagnement peuvent l'amener à privilégier l'option 2 qui permet de limiter les investissements futurs et de lisser les revenus (gestion irrégulière).
	S2	D1. Maintien du système actuel et gestion adaptative à minima	Si la situation est dans l'ensemble proche de celle du scénario précédent, une différence tient à un contexte économique nettement plus porteurs (prix élevés des matières premières) et à une attitude générale encore plus attentiste vis-à-vis du changement climatique, ce qui est plus cohérent avec l'option 1.
	S3	D2. Gestion des dépérissements avec maintien du douglas	La production forestière est un secteur important pour l'économie locale et on peut donc imaginer que des moyens sont dégagés pour accompagner les propriétaires forestiers et sécuriser la production forestière à moyen terme. Cela favorise une gestion plus pro-active du risque de dépérissements.
	S4	D3. Remplacement d'une partie des peuplements de douglas	L'anticipation du changement climatique et la priorité donnée à la production d'énergies renouvelables dans ce scénario conduisent à privilégier cette option. C'est en outre une option qui permet un bon compromis production / environnement.
	S1	H3. Abandon de l'objectif de production pour un objectif de protection	En l'absence d'aide économique et d'accompagnement technique, le propriétaire abandonne toute gestion active de sa forêt.
	S2	H2. Substitution d'essence suite au dépérissement du sapin et aux problèmes sanitaires sur le hêtre	La logique économique, la priorité à la production quantitative et le recul des politiques d'environnement conduisent à privilégier cette option.
	S3	H1. Maintien du système actuel, diversification du mélange au profit du chêne et de l'érable	Le territoire en question est et restera une zone favorable à la production forestière, et devrait même voir s'accroître ses avantages comparatifs en matière sylvicole compte tenu de l'impact du changement climatique sur le reste du territoire. Dans ce contexte, il est probable que le système actuel, qui a fait ses preuves, soit maintenu.
	S4	H2 ou H3	Dans ce scénario, un arbitrage sera nécessaire entre préservation de la biodiversité dans l'option 3 et production de bioénergie et biomatériaux (option 2). Le niveau relatif de contrainte et/ou d'incitation mis en place au titre de ces deux politiques aura une forte influence sur les choix du propriétaire.
S1 : Métropolisation et consumérisme – S2 : Libéralisation et priorité à la production – S3 : Mosaïque de territoires et d'acteurs – S4 : Transition énergétique et environnementale			

Analyse du degré de transformation des systèmes et de l'attitude des acteurs face au risque

Associer de manière argumentée chaque option d'adaptation imaginée dans les études de cas à l'un des scénarios de contexte permet de mettre en évidence des facteurs favorables ou défavorables à l'adaptation au changement climatique dans les secteurs agricole et forestier. Pour autant, la prospective AFClim reste un exercice basé sur des études de cas qu'il serait abusif de généraliser à l'ensemble d'une filière ou à l'échelle de la ferme France. Pour néanmoins dégager des enseignements de la démarche, sans tomber dans le travers d'une généralisation trop hâtive, nous avons choisi de mobiliser deux grilles d'analyse qui permettent de qualifier le degré de transformation des systèmes et l'attitude face au risque induits par le changement climatique. La grille efficacité/substitution/reconception (ESR) d'une part et le gradient résistance/résilience d'autre part sont explicités ci-dessous avant d'être appliqués à l'ensemble des options d'adaptation imaginées dans les études de cas.

La grille d'analyse ESR (cf. encadré n° 6) permet de qualifier le degré de changement des systèmes de production dans chacune des options d'adaptation élaborées dans le cadre de l'exercice. Chaque option d'adaptation a ainsi été associée à l'une des trois modalités (efficacité, substitution ou reconception) et cette association a été validée par les experts du groupe AFClim.

Encadré n° 6

PRÉSENTATION DE LA GRILLE D'ANALYSE « EFFICIENCE, SUBSTITUTION, RECONCEPTION »

La grille d'analyse ESR (Hill et McRae, 1995) permet d'analyser le degré de changement d'un système. Elle est largement utilisée pour décrire les modifications de pratiques agricoles en lien avec la réduction de l'utilisation des intrants (ex. : Navarrete *et al.*, 2012) et plus largement les évolutions techniques des systèmes agricoles (ex. : Coulon et Meynard, 2011). Cette grille distingue trois niveaux :

- **Efficienc**e : à ce niveau, les changements au sein d'un système visent à réduire la consommation et le gaspillage de ressources rares et coûteuses. L'objectif est d'optimiser le fonctionnement actuel du système. Les changements sont donc d'ampleur limitée et peu dispendieux. Dans le secteur forestier, un exemple est la sylviculture adaptative (adaptation des interventions sylvicoles aux effets du changement climatique sans modifications des essences ni des objectifs). Dans le secteur agricole, on peut citer le raisonnement des apports d'intrants.
- **Substitution** : à ce niveau, certains produits ou composantes du système sont remplacés par d'autres pour permettre

un moindre impact environnemental et/ou une meilleure adaptation. L'objectif est de faire fonctionner le système de façon similaire mais en substituant certaines de ses composantes à d'autres. Les changements sont donc plus importants et plus complexes à mettre en œuvre. On peut citer par exemple la diversification d'essences en forêt, le remplacement du maïs par du sorgho fourrager en production animale ou encore le remplacement des insecticides par la confusion sexuelle en arboriculture.

- **Reconception** : à ce niveau, les causes des problèmes sont reconnues et résolues par une transformation de l'ensemble du système. L'objectif est dans ce cas de repenser l'intégralité du fonctionnement du système pour répondre aux nouvelles exigences qui lui sont adressées. Les changements sont logiquement beaucoup plus importants et plus longs à mettre en œuvre. De telles reconceptions de système peuvent être par exemple un changement d'essences feuillues vers résineuses en sylviculture ou une modification majeure des rotations en grandes cultures.

Ainsi, toutes les options d'adaptation qui relevaient de l'optimisation des systèmes de production existants, en particulier l'amélioration de l'utilisation des ressources, ont été classées dans « Efficience ». C'est le cas des options « S1. Maintien du système actuel et pratiques sylvicoles adaptatives » dans l'étude de cas « Sapinière méditerranéenne », « C12. Mettre en place de l'irrigation d'appoint » dans l'étude de cas « Cultures industrielles en Picardie », ou encore « PE1. Maintenir la production fourragère en optimisant les techniques culturales » dans l'étude de cas « Polyculture-élevage dans la Meuse ». Les options d'adaptation dans lesquelles une composante du système était substituée à une autre pour améliorer l'adaptation au changement climatique ont été classées en « Substitution ». On peut citer en exemple les options « C3. Substitution d'essences » pour l'étude de cas « Chênaie du bassin de la Loire », « V3. Changer de cépage » pour l'étude de cas « Viticulture dans le Beaujolais », ou « BA2. Introduire des cultures fourragères à stocks » pour l'étude de cas « Bovins allaitants en Haute-Vienne ». Enfin, les options d'adaptation pour lesquelles le fonctionnement d'ensemble du système de production était modifié pour s'adapter au changement climatique ont été classées en « Reconception ». Il s'agit par exemple des options « S3. Abandon du sapin et substitution par des sapins méditerranéens et du cèdre » pour l'étude de cas « Sapinière méditerranéenne », « GC3. Améliorer la résilience en diversifiant les cultures et en adoptant des techniques de conservation des sols » pour l'étude de cas « Grandes cultures dans le Cher » ou « BL3. Diminuer la spécialisation laitière par le développement des cultures de vente céréalières » pour l'étude de cas « Bovins lait dans les Côtes-d'Armor ». Sur l'ensemble des croisements, on en dénombre vingt-deux relevant de l'efficience, seize relevant de la substitution et dix-huit relevant de la reconception. Notons que quatre options d'adaptation n'ont pas été classées dans la grille ESR car elles relevaient d'un abandon de production (« H3. Abandon de l'objectif de production » ; « PM3. Modification brutale du paysage forestier » ; « A3. Adaptation faible du verger, difficultés majeures et potentielle disparition de l'exploitation » ; et « Abandon de la forêt » pour l'étude de cas « Sapinière méditerranéenne »). Nous avons considéré qu'il ne s'agissait pas d'une adaptation au changement climatique.

Le tableau n° 5 récapitule les options d'adaptation pour chaque étude de cas, le scénario de contexte auquel elles sont associées et le niveau E, S ou R qui leur a été attribué. On peut ainsi analyser l'ampleur des changements induits par l'adaptation au changement climatique pour chaque scénario et comparer les quatre scénarios entre eux.

Tableau n°5. Grille d'analyse ESR

	Scénario 1 Métropolisation et consumérisme	Scénario 2 Libéralisation et priorité à la production	Scénario 3 Mosaïque de territoires et d'acteurs	Scénario 4 Transition énergétique et environnementale
Productions végétales	Cultures industrielles (Somme) N° 1	C12. Mettre en place de l'irrigation d'appoint	C12. Mettre en place de l'irrigation d'appoint	C13. Développer des pratiques d'agriculture de conservation
	Grandes cultures (Cher) N° 5	GC2. Développer l'irrigation pour accroître les rendements	GC2. Développer l'irrigation pour accroître les rendements	GC3. Améliorer la résilience en diversifiant les cultures et en adoptant des techniques de conservation
	Viticulture (Beaujolais) N° 7	V3. Changer de cépage pour une variété adaptée au stress hydrique au détriment de l'AOC	V2. Miser sur les rendements avec le développement de l'irrigation V3. Changer de cépage pour une variété adaptée au stress hydrique au détriment de l'AOC	V3. Changer de cépage pour une variété adaptée au stress hydrique au détriment de l'AOC V4. Réorientation vers d'autres cultures (fruits secs, cultures énergétiques) voire boisement
	Mais (Landes) N° 11	M2. Diversifier l'assolement face à la contrainte hydrique et réserver l'irrigation aux cultures rémunératrices	M1. Augmenter les rendements en utilisant de nouvelles variétés et en mobilisant davantage d'eau	M3. Abandon de la production de maïs et réorientation vers des cultures économes ou des usages non agricoles
Productions animales	Arboriculture (Vaucluse) N° 12	A1. Investir dans l'irrigation de précision sans changer l'orientation principale	A3. Adaptation faible du verger, difficultés majeures et potentielle disparition de l'exploitation	A2. Améliorer la résilience aux aléas climatiques en adaptant la conduite du verger et en renforçant la part du blé
	Polyculture élevage (Meuse) N° 2	PE1. Maintenir la production fourragère en optimisant les techniques culturales	PE4. Abandonner la production laitière pour privilégier les cultures de vente, dont le maïs grain	PE3. Diversifier les assolements et augmenter l'autonomie en protéines
	Bovin lait (Côtes d'Armor) N° 3	BL1. Valoriser le surplus hivernal d'herbe et ensiler une partie des céréales pour compléter la ressource fourragère	BL3. Diminuer la spécialisation laitière par le développement des cultures de vente céréalières	BL2. Développer les cultures fourragères résistantes à la sécheresse, comme les prairies multi-spécifiques
	Bovins allaitant (Creuse) N° 9	BA1. Mettre en place deux périodes de vêlage pour résoudre le déficit d'herbe en été	BA2. Introduire des cultures fourragères à stocks pour faire face aux aléas climatiques	BA4. Intensifier l'élevage et développer une production sous signe de qualité
Forêt	Ovin viande (Hautes Pyrénées) N° 14	O1. Mieux valoriser les estives par la maîtrise accrue de la reproduction	O3. Réorientation vers l'élevage bovin extensif (ranching) face à l'augmentation du prix des céréales	O1. Mieux valoriser les estives par la maîtrise accrue de la reproduction O3. Réorientation vers l'élevage bovin extensif (ranching) face à l'augmentation du prix des céréales
	Hétraie irrégulière (Haute Saône) N° 4	H3. Abandon de l'objectif de production et gestion patrimoniale	H2. Substitution d'essence dans un objectif de production	H2. Substitution d'essence dans un objectif de production H3. Abandon de l'objectif de production et gestion patrimoniale
	Chênaie (Bassin de la Loire) N° 6	C2. Segmentatation des fonctions avec maintien des investissements limité aux zones favorables	C3. Substitution d'essences et réduction des rotations (bois énergie)	C1. Remplacement par du chêne sessile et diversification en résineux D3. Remplacement d'une partie des peuplements de douglas
	Forêt de Douglas (Limousin) N° 8	D2. Diversification génétique et gestion adaptative	D1. Maintien du système et adaptation <i>a minima</i>	PM1. Maintien du pin maritime dans une démarche de prévention des risques PM2. Diversification des essences et diminution de la durée des rotations
Code couleur :	Pin maritime (Landes) N° 10	PM3. Modification brutale du paysage forestier	PM2. Diversification des essences et diminution de la durée des rotations	PM1. Maintien du pin maritime dans une démarche de prévention des risques
	Sapinière (Méditerranée) N° 13	S1. Maintien du système actuel et pratiques sylvicoles adaptatives	Abandon de la forêt	S3. Abandon du sapin et substitution par des sapins méditerranéens et du cèdre
	Efficiences	Substitution	Reconception	Abandon de production, disparition d'activité

Le tableau n° 5 montre que la répartition des trois modalités E, S et R n'est pas homogène entre les secteurs agricole et forestier : il n'y a quasiment pas d'option d'adaptation relevant de la reconception en forêt (une seule option en tout), tandis qu'en agriculture, ce sont les options de substitution qui sont minoritaires (huit contre treize pour l'efficacité et dix-sept pour la reconception). Ceci suggère que les options de reconception sont plus difficiles à imaginer en forêt, vraisemblablement en lien avec la durée des cycles de production.

Le tableau montre en outre que la répartition des trois modalités E, S et R est très variable d'un scénario à l'autre. La plupart des options d'adaptation qui relèvent de l'efficacité se trouvent dans le scénario S1 « Métropolisation et consumérisme » (dix options sur douze) tandis que la majorité des options de reconception se situent dans le scénario S4 « Transition énergétique et environnementale » (dix options sur quinze). Ce résultat semble tout à fait cohérent avec les précédentes conclusions : les préoccupations environnementales et le volontarisme des politiques publiques favorisent logiquement les options d'adaptation les plus prononcées, avec à la fois des logiques de diversification/autonomie et des logiques de réorientations de production lorsque les systèmes en place sont très peu adaptés aux évolutions attendues du climat.

À l'inverse, le scénario dans lequel l'intérêt pour le monde rural est faible est plutôt associé à des stratégies de faible adaptation au changement climatique. Dans les scénarios S1 et S2, le désintérêt pour le monde rural et la vision utilitariste de l'environnement qui prévalent sont logiquement accompagnés de stratégies d'adaptation assez peu volontaristes et basées sur des modifications à la marge des systèmes, ne permettant qu'une faible adaptation au changement climatique. De tels contextes permettent d'imaginer des arbitrages favorables à l'agriculture concernant l'utilisation des ressources en eau et sont ainsi associés plus fréquemment à des options d'adaptation basées sur l'irrigation, donc ne s'accompagnant pas de transformations profondes des systèmes existants. On retrouve également plus fréquemment dans ces deux scénarios des situations de vulnérabilité et des risques d'abandon de production, lorsque la compétitivité est remise en cause, notamment par des effets mal anticipés du changement climatique.

On peut noter enfin qu'il y a relativement peu d'options d'adaptation relevant de la substitution pour les études de cas agricoles. Cela suggère qu'il y a un contraste marqué entre deux grandes stratégies d'adaptation au changement climatique :

- l'une relevant principalement de l'efficacité, donc de la transformation à la marge des systèmes de production existants, lorsque les effets du changement climatique ou les autres déterminants externes des transformations des systèmes agricoles sont peu prégnants ;
- l'autre relevant principalement de la reconception, donc de dynamiques de transformations plus profondes des systèmes de production agricoles, rendues nécessaires par les effets du changement climatique et par d'autres exigences adressées à ces systèmes.

Le scénario S3 « Mosaïque de territoires et d'acteurs » apparaît assez naturellement comme un mix de ces deux stratégies, chaque territoire effectuant son propre arbitrage en fonction de ses avantages comparatifs et de ses priorités.

Pour prolonger le travail d'analyse, nous avons également mobilisé les **notions de résistance et de résilience**, couramment utilisées en matière de gestion des risques. Ces deux concepts sont explicités dans l'encadré n° 7. Pour chacune des options d'adaptation imaginées dans les études de cas, il a été déterminé à dire d'experts si elles tendaient plutôt à augmenter la résistance du système étudié, ou bien sa résilience.

Encadré n° 7

RÉSISTANCE ET RÉSILIENCE, DEUX CONCEPTS DE LA GESTION DES RISQUES

Dans la littérature scientifique sur la gestion des risques, notamment naturels, deux concepts coexistent pour guider les actions à entreprendre : résistance et résilience (Dauphiné et Provitolo, 2007). Ils se distinguent par l'attitude adoptée face à l'exposition à un aléa.

Dans le cas de la **résistance**, l'objectif visé est d'empêcher la réalisation des impacts de l'aléa sur le système exposé, en mettant en place une stratégie de défense. La construction de digues le long des fleuves et de barrages en amont relève par exemple de cette stratégie. Celle-ci implique d'être en mesure de quantifier de manière précise l'ampleur de l'aléa afin de pouvoir calibrer les ouvrages devant s'y opposer. Elle est alors relativement efficace.

Une stratégie de **résilience** vise, non pas à s'opposer à la réalisation des impacts mais à en réduire au maximum les effets dommageables. En physique, le terme de résilience désigne la capacité d'un système à retrouver son état initial après un choc ou

une pression continue (Mathieu, 1991). En écologie, il désigne la capacité d'un système à persister sans changement qualitatif de structure (Holling, 1973). Selon Dauphiné et Provitolo (2007), les facteurs d'augmentation de la résilience le plus souvent cités sont la diversité, l'auto-organisation et l'apprentissage. L'auto-organisation s'entend ici comme la capacité d'un système à réorganiser son fonctionnement de manière autonome après avoir subi un choc.

Ces deux concepts ne sont pas diamétralement opposés, un système pouvant être à la fois résistant et résilient. Mais les actions entreprises pour augmenter l'une auront souvent tendance à diminuer l'autre. En matière de risque d'inondation par exemple, relever le niveau des digues de protection est peu compatible avec une stratégie visant à laisser le cours du fleuve s'étendre dans les plaines inondables. On distingue donc plutôt des stratégies visant augmenter soit l'une, soit l'autre des propriétés.

En matière de gestion forestière, Peyron *et al.* (2011) identifient quelques caractéristiques opérationnelles des systèmes confrontés aux effets du changement climatique relevant de chacune des deux stratégies. Un système résistant serait fondé sur « l'amélioration génétique, les techniques de plantation et des essences à croissance rapide [...], il vise à maintenir la production de bois, mais n'est résistant que dans la mesure où les conditions pour lesquelles il est adapté se réalisent. » Un système résilient serait quant à lui fondé sur « des espèces généralement locales, leur diversité génétique et spécifique ainsi que le mélange des âges. Il vise à maintenir un état boisé et des capacités de production en jouant sur les relais possibles entre essences et arbres au sein d'une structure souple ». Ces critères ont donc été appliqués aux études de cas forestières. Ainsi, de nombreuses options s'inscrivent dans une stratégie de résilience en reposant sur des actions de diversification ou de substitution d'essences, comme dans l'option 2 de l'étude de cas « Sapinière en moyenne montagne méditerranéenne ». *A contrario*, des stratégies mono-spécifiques basées sur un objectif de production, comme l'option 1 de l'étude de cas « Pin maritime dans les Landes », vont dans le sens d'une augmentation de la résistance.

Concernant les études de cas agricoles, les objectifs des stratégies déployées face au changement climatique et les facteurs d'augmentation de la résilience définis par Dauphiné et Provitolo (2007) ont été utilisés comme critères de distinction entre les deux approches de gestion des risques. Ainsi, les options basées sur des techniques visant à contrer directement les effets du changement climatique, comme le recours à l'irrigation, par exemple dans l'option 2 de l'étude de cas « Cultures industrielles dans la Somme » ou bien dans l'option 2 de l'étude de cas « Grandes cultures dans le Cher », ont été retenues comme facteurs d'augmentation de la résistance. Les actions de diversification des cultures, de diminution de la spécialisation ou encore des pratiques d'agriculture de conservation ont été retenues comme facteurs d'augmentation de la résilience. C'est le cas par exemple de l'option 3 « Diversifier l'assolement et augmenter l'autonomie en protéines » de l'étude de cas « Polyculture-élevage dans la Meuse ».

Le tableau n° 6 présente le résultat de l'application de cette grille aux croisements entre options d'adaptation et scénarios de contexte effectués précédemment.

Tableau n° 6. Grille d'analyse résistance/résilience

	Scénario 1 Métropolisation et consumérisme	Scénario 2 Libéralisation et priorité à la production	Scénario 3 Mosaïque de territoires et d'acteurs	Scénario 4 Transition énergétique et environnementale
Productions végétales	Cultures industrielles (Somme) N° 1	C12. Mettre en place de l'irrigation d'appoint	C12. Mettre en place de l'irrigation d'appoint	C13. Développer des pratiques d'agriculture de conservation
	Grandes cultures (Cher) N° 5	GC2. Développer l'irrigation pour accroître les rendements V2. Miser sur les rendements avec le développement de l'irrigation V3. Changer de cépage pour une variété adaptée au stress hydrique au détriment de l'AOC	GC2. Développer l'irrigation pour accroître les rendements V2. Miser sur les rendements avec le développement de l'irrigation V3. Changer de cépage pour une variété adaptée au stress hydrique au détriment de l'AOC	GC3. Améliorer la résilience en diversifiant les cultures et en adoptant des techniques de conservation V4. Réorientation vers d'autres cultures (fruits secs, cultures énergétiques) voire boisement
Productions animales	Viticulture (Beaujolais) N° 7	V3. Changer de cépage pour une variété adaptée au stress hydrique au détriment de l'AOC	V3. Changer de cépage pour une variété adaptée au stress hydrique au détriment de l'AOC	V4. Réorientation vers d'autres cultures (fruits secs, cultures énergétiques) voire boisement
	Mais (Landes) N° 11	M2. Diversifier l'assolement face à la contrainte hydrique et réserver l'irrigation aux cultures rémunératrices	M1. Augmenter les rendements en utilisant de nouvelles variétés et en mobilisant davantage d'eau A3. Adaptation faible du verger, difficultés majeures et potentielle disparition de l'exploitation	M3. Abandon de la production de maïs et réorientation vers des cultures économes ou des usages non agricoles A2. Améliorer la résilience aux aléas climatiques en adaptant la conduite du verger et en renforçant la part du blé
Productions animales	Arboriculture (Vaucluse) N° 12	A1. Investir dans l'irrigation de précision sans changer l'orientation principale	A3. Adaptation faible du verger, difficultés majeures et potentielle disparition de l'exploitation	A2. Améliorer la résilience aux aléas climatiques en adaptant la conduite du verger et en renforçant la part du blé
	Polyculture élevage (Meuse) N° 2	PE1. Maintenir la production fourragère en optimisant les techniques culturales	PE4. Abandonner la production laitière pour privilégier les cultures de vente, dont le maïs grain	PE3. Diversifier les assolements et augmenter l'autonomie en protéines
Productions animales	Bovin lait (Côtes d'Armor) N° 3	BL1. Valoriser le surplus hivernal d'herbe et ensiler une partie des céréales pour compléter la ressource fourragère	BL3. Diminuer la spécialisation laitière par le développement des cultures de vente céréalières	BL2. Développer les cultures fourragères résistantes à la sécheresse, comme les prairies multi-spécifiques
	Bovin allaitant (Creuse) N° 9	BA1. Mettre en place deux périodes de vêlage pour résoudre le déficit d'herbe en été	BA2. Introduire des cultures fourragères à stocks pour faire face aux aléas climatiques	BA4. Extensifier l'élevage et développer une production sous signe de qualité
Productions animales	Ovin viande (Hautes Pyrénées) N° 14	1. Mieux valoriser les estives par la maîtrise accrue de la reproduction	3. Réorientation vers l'élevage bovin extensif (ranching) face à l'augmentation du prix des céréales	O01. Mieux valoriser les estives par la maîtrise accrue de la reproduction 3. Réorientation vers l'élevage bovin extensif (ranching) face à l'augmentation du prix des céréales
	Hétraie irrégulière (Haute Saône) N° 4	H3. Abandon de l'objectif de production et gestion patrimoniale	H2. Substitution d'essence dans un objectif de production	H2. Substitution d'essence dans un objectif de production H3. Abandon de l'objectif de production et gestion patrimoniale
Forêt	Chênaie (Bassin de la Loire) N° 6	C2. Segmentation des fonctions avec maintien des investissements limité aux zones favorables	C3. Substitution d'essences et réduction des rotations (bois énergie)	C1. Remplacement par du chêne sessile et diversification en résineux
	Forêt de Douglas (Limousin) N° 8	D2. Diversification génétique et gestion adaptative	D1. Maintien du système et adaptation a minima	D3. Remplacement d'une partie des peuplements de douglas
Forêt	Pin maritime (Landes) N° 10	PM3. Modification brutale du paysage forestier	PM2. Diversification des essences et diminution de la durée des rotations	PM1. Maintien du pin maritime dans une démarche de prévention des risques
	Sapinière (Méditerranée) N° 13	S1. Maintien du système actuel et pratiques sylvicoles adaptatives	Abandon de la forêt	S3. Abandon du sapin et substitution par des sapins méditerranéens et du cèdre
Code couleur :		Vers plus de résistance	Vers plus de résilience	Abandon de production, disparition d'activité

Pour l'ensemble des études de cas, on constate une répartition à peu près égale entre les options d'adaptation relevant d'une stratégie de résistance (vingt-sept) et celles relevant d'une stratégie de résilience (trente). Au-delà des limites inhérentes à la définition et à la caractérisation de ces deux conceptions de la gestion du risque, on peut voir dans cet équilibre une illustration de la diversité des situations auxquelles devront faire face les exploitants dans les cas étudiés. Puisqu'il s'agit de stratégies de gestion de risque, il faut surtout s'intéresser à l'exposition des différents cas à l'aléa climatique et aux ressources dont les acteurs disposent pour s'adapter. Ainsi, on peut penser que de manière générale, dans les cas où les effets attendus du changement climatique sont modérés et où les ressources locales sont disponibles, il sera possible de développer une stratégie de résistance permettant de faire face à l'aléa. C'est le cas de la plupart des options d'adaptation reposant principalement sur une augmentation de l'irrigation comme par exemple pour l'option 1 « Augmenter les rendements en utilisant de nouvelles variétés et en mobilisant davantage d'eau » de l'étude de cas « Maïs irrigué dans les Landes ». En revanche, les actions à mettre en œuvre dans les cas où les marges de manœuvre sont faibles et où les incertitudes sur les effets du changement climatique sont fortes, vont plutôt s'appuyer sur le principe de résilience, comme par exemple dans l'option 3 « Améliorer la résilience en diversifiant les cultures et en adoptant des techniques de conservation » de l'étude de cas « Grandes cultures dans le Cher ».

Au-delà du contexte territorial et climatique de chaque étude de cas, on constate une influence notable du scénario de contexte sur le type de stratégie retenue. En effet, la grande majorité des options du scénario 2 « Libéralisation et priorité à la production » relève d'une stratégie de résistance, alors que celles du scénario 4 « Transition énergétique et environnementale » font appel dans leur quasi-totalité à des stratégies de résilience. La situation est plus équilibrée pour les deux autres scénarios, « Métropolisation et consumérisme » et « Mosaïque de territoires et d'acteurs ». Ce constat se comprend bien dans la mesure où l'un des facteurs déterminant le plus fortement la stratégie de gestion du risque que l'on souhaite mettre en œuvre se trouve dans les objectifs, les finalités retenues pour l'exploitation agricole ou forestière en question : la stratégie économique est-elle axée sur une réduction des coûts de production ou *a contrario* sur une augmentation des volumes produits, quelles que soient les ressources nécessaires ? Quel est le poids relatifs des différentes fonctions et services que fournit l'exploitation agricole ou la forêt (production, emploi, services environnementaux, etc.) ? Les orientations des systèmes de production sont donc fortement dépendantes du contexte socio-économique. Ainsi, dans le scénario S2, où la production en volume est fortement incitée par l'ouverture des marchés et le cours des matières premières, l'objectif prioritaire est de sécuriser, voire d'augmenter les rendements. Se déploient ainsi des stratégies de résistance pour s'opposer aux effets néfastes du changement climatique ou, quand cela est possible, pour profiter au maximum de ses effets favorables. L'option 1 de l'étude de cas « Maïs irrigué dans les Landes » ou l'option 4 « Abandonner la production laitière pour privilégier les cultures de ventes » dans le cas « Polyculture-élevage dans la Meuse » en sont deux exemples.

Lorsque les objectifs environnementaux sont plus prégnants, à l'instar du scénario 4, ce sont plutôt des stratégies de résilience qui permettent d'y répondre tout en améliorant le niveau d'adaptation au changement climatique, en s'appuyant davantage sur les dynamiques des écosystèmes et en réduisant de ce fait les impacts environnementaux de la production, quitte à voire celle-ci diminuer parfois. L'option « Extensifier l'élevage et développer une production sous signe de qualité » dans le cas « Bovin allaitant en Haute-Vienne » en est un exemple parmi d'autres. Enfin, les demandes plus diversifiées adressées à l'agriculture et à la forêt dans le cadre des scénarios 1 et 3 peuvent expliquer le plus grand équilibre entre les deux stratégies de gestion du risque que l'on observe.

3.3. SYNTHÈSE PAR SCÉNARIO DES RESSOURCES ET CONTRAINTES POUR L'ADAPTATION

À l'issu de ce travail d'analyse, il est possible de donner pour chacun des quatre scénarios de contexte une image plus précise des modalités d'adaptation des systèmes agricoles et forestiers, des facteurs favorables et défavorables à cette adaptation et des conséquences socio-économiques et environnementales prévisibles si les options d'adaptation associées à ce scénario devaient être adoptées par l'ensemble des exploitants agricoles et des gestionnaires forestiers.

Le scénario 1 « Métropolisation et consumérisme » est marqué par une urbanisation croissante des représentations et des modes de vie, conduisant à un certain désintérêt pour l'environnement et le milieu rural, à l'exception des espaces verts de proximité. Cela a des conséquences fortes sur la gestion forestière, et notamment sur les investissements publics ou privés qui y sont consacrés. Dans ce contexte, les investissements productifs rentables sont privilégiés et, compte tenu des horizons de temps de la production forestière, ils intègrent au moins partiellement la question de l'adaptation au changement climatique. C'est ainsi que l'on voit le maintien d'investissements dans les zones les plus productives de l'étude de cas « Chênaie du bassin de la Loire » ou encore le maintien du système actuel dans l'étude de cas « Douglas en Limousin », en privilégiant une sylviculture dynamique et adaptée aux conséquences du changement climatique. Dans ce scénario, on peut également imaginer que certaines forêts deviennent au moins en partie des espaces naturels de proximité. L'objectif principal devient donc l'accueil du public et la fourniture d'aménités, et l'atteinte de cet objectif conduit à des actions d'adaptation *a minima* : maintien d'un couvert boisé dans les zones de dépérissements du chêne pour l'étude de cas ligérienne ou gestion adaptative en limitant les interventions dans l'étude de cas « Sapinière méditerranéenne » par exemple. À l'inverse, le désintérêt pour la forêt, l'absence d'aides à l'investissement et le manque de visibilité pour les propriétaires forestiers, auxquels peuvent s'ajouter localement une forte pression sur le foncier (urbanisation, agriculture), pourraient conduire dans ce scénario à l'abandon de l'objectif de production et de gestion active de certaines forêts, à l'image des études de cas « Pin maritime dans les Landes » ou « Hêtraie irrégulière en Haute-Saône ».

Dans le domaine agricole, ce scénario est marqué par une faible demande en matière d'environnement, un contexte économique plutôt porteur et une réduction des soutiens publics. Dans ce contexte, l'adaptation des systèmes de production passe principalement par l'optimisation technique des systèmes existants et la mobilisation des ressources disponibles, avec un objectif fort de maintien ou d'augmentation des volumes de production. En élevage, cela peut se traduire notamment par une adaptation de la conduite du troupeau aux nouvelles périodes de disponibilités en herbe : décalage des périodes de pâturage (étude de cas « Bovin lait dans les Côtes-d'Armor »), ou de reproduction (études de cas « Bovin allaitant en Haute-Vienne » et « Ovin allaitant dans les Hautes-Pyrénées »). Pour les cultures pérennes, le contexte économique et le faible attachement des consommateurs au terroir dans ce scénario conduisent dans les études de cas correspondantes à des stratégies « coût/volume » dans lesquelles l'adaptation au changement climatique vise en premier lieu à garantir les volumes produits : irrigation de précision pour l'étude de cas « Arboriculture dans le Vaucluse », changement de cépage pour l'étude de cas « Viticulture dans le Rhône ». Pour les études de cas « Grandes cultures dans le Cher » et « cultures industrielles en Picardie », le scénario 1 est associé à un développement important de l'irrigation, permettant de sécuriser et d'accroître les rendements. Ce développement est cohérent avec un scénario permettant en effet d'imaginer des arbitrages favorables au monde agricole pour ce qui est de la répartition de la ressource en eau. La question de l'amortissement des investissements correspondant reste cependant à poser et pourrait trouver une réponse dans le développement de cultures à plus forte valeur ajoutée.

Globalement, l'adaptation au changement climatique des systèmes agricoles étudiés dans ce scénario reste modérée et s'effectue sans modifications profondes des pratiques agricoles. La performance des systèmes de production est privilégiée par rapport à leur résilience. Pour les études de cas dans le secteur forestier, le niveau d'adaptation est faible et consiste principalement à maintenir les systèmes existants tant que les effets du changement climatique ne les remettent pas totalement en cause. Les options d'adaptation envisagées dans ce scénario, si elles devaient être assez largement adoptées par l'ensemble des exploitants agricoles et des gestionnaires forestiers, auraient des conséquences importantes et

plutôt négatives sur plusieurs enjeux environnementaux tels que la gestion de l'eau ou la biodiversité. En outre, ces options d'adaptation ne permettraient pas de progrès significatifs en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Le scénario 2 «Libéralisation et priorité à la production» est marqué par la libéralisation des échanges, la prédominance de la logique de rentabilité et le principe de régulation par le marché dans l'organisation de l'économie. Des réformes structurelles visant à maintenir la compétitivité sont entreprises et induisent un repli général de l'action publique, y compris de la politique agricole commune. En conséquence, une partie des surfaces forestières s'oriente avant tout vers un objectif de production en volume pour alimenter un marché du bois porteur dans un contexte de tension sur les matières premières au niveau européen et mondial. Comme dans l'étude de cas «Pin maritime dans les Landes», la sylviculture s'adapte à cet impératif tout en cherchant à se prémunir des effets du changement climatique pour maintenir la production, par une diversification des essences et une diminution de la durée des rotations. Pour d'autres cas, comme celui de la «Chênaie du bassin de la Loire», la recherche d'une productivité accrue va jusqu'à une substitution des essences, pour dans ce cas alimenter un marché du bois énergie, lui aussi en pleine expansion suite au renchérissement du coût des produits pétroliers. Ces changements forts d'orientation ont cependant un coût élevé et ne peuvent être réalisés qu'au prix d'investissements importants, pouvant amener les pouvoirs publics à céder certaines forêts domaniales à des investisseurs privés, comme dans le cas ligérien. Ces investissements ne sont également consentis que dans les zones où la rentabilité espérée est élevée. D'autres espaces forestiers risquent donc d'être délaissés, en particulier là où les coûts d'entretien sont élevés pour une production faible, à l'image de l'étude de cas «Sapinière méditerranéenne». L'absence de rémunération et la faible prise en compte des services environnementaux rendus par les forêts contribuent également à ces abandons.

Dans le secteur agricole, les prix élevés sur le marché mondial, la libre circulation des produits et l'abandon des instruments de régulation de la production, associés à une diminution drastique des soutiens publics, ont des conséquences fortes sur la gestion et la structure des exploitations. Dans le domaine des grandes cultures, les prix très rémunérateurs incitent à augmenter et sécuriser les volumes de production face aux conséquences du changement climatique. Pour cela, le recours à l'irrigation pourrait être privilégié, comme dans l'étude de cas «Grandes cultures dans le Cher» ou «Maïsiculture dans les Landes», nécessitant parfois des investissements matériels importants. L'intensité capitaliste de ces exploitations s'en voit augmentée, allant dans le sens d'un mouvement plus général de financiarisation. Le contexte macro-économique dans ce scénario est nettement moins favorable pour l'élevage. La concurrence accrue sur des marchés mondiaux totalement ouverts et l'accroissement des coûts de production pourraient mettre en difficulté certaines exploitations françaises. Il en est ainsi de l'étude de cas «Ovins dans les Hautes-Pyrénées» qui, pour y faire face, mise sur une diminution drastique de ses charges par un mode d'élevage très extensif, sans pour autant être rémunérée pour les services environnementaux ainsi rendus. L'attractivité des cultures de vente incite dans d'autres situations à diminuer voire à abandonner les productions animales, dans un mouvement de céréalisation des exploitations, renforcé dans le cas des productions laitières par la disparition des instruments de régulation de l'offre (quotas). Il en est ainsi des études de cas «Bovins lait dans les Côtes-d'Armor» et «Polyculture-élevage dans la Meuse», d'autant que dans certaines régions les effets du changement climatique pourraient s'avérer relativement favorables aux cultures. Ces transformations auront évidemment des conséquences profondes sur l'aménagement des territoires et l'aval des filières. Enfin, les cultures pérennes, intensives en main-d'œuvre, pourraient faire face avec difficulté aux conditions plus avantageuses en termes de coût du travail dont bénéficient certains concurrents sur le marché mondial. La capacité à investir et/ou à innover pour s'adapter au changement climatique tout en maintenant la compétitivité sera donc un élément clé du devenir de ces exploitations.

Globalement, dans ce scénario, on peut penser que ce ne seront pas les exigences d'adaptation au changement climatique qui orienteront prioritairement les évolutions des secteurs agricoles et forestiers, mais davantage les pressions accrues de la concurrence internationale sur ces productions. Les actions d'adaptation sont donc d'assez faible ampleur dans l'ensemble et visent d'abord à préserver un potentiel de production élevé dans les zones favorables. Les investissements plus importants qui seraient nécessaires dans les zones les plus exposées au changement climatique pourraient ne pas être consentis, conduisant ainsi à la réorientation ou l'abandon de certaines activités. Ces évolutions, si elles devaient être généralisées, poseraient des problèmes de biodiversité et de surexploitation de la ressource en eau.

Enfin, on peut imaginer dans ce scénario un accroissement du puits de carbone par l'afforestation des zones marginales délaissées par l'agriculture mais il s'accompagnerait du maintien voire de l'accroissement des émissions de GES liées aux pratiques agricoles intensives. Au final, un tel scénario ne permet pas d'entrevoir de progrès significatifs en termes d'atténuation.

Le scénario 3 «Mosaïque de territoires et d'acteurs» est marqué par un profond mouvement de décentralisation et de relocalisation partielle de l'économie, propice au renforcement du rôle des collectivités locales et à l'organisation des acteurs de terrain en réseaux d'intérêts communs. Les demandes de la société adressées aux secteurs agricoles et forestiers sont multiples et conduisent à renforcer les atouts de chacun des territoires.

Dans le domaine agricole, la vocation exportatrice (hors Union européenne) de la «ferme France» a été en grande partie remise en cause. Le poids économique du secteur agricole a globalement diminué en France, mais son importance relative au sein des territoires devient très hétérogène, les surfaces et l'activité agricoles s'étant concentrées dans les zones les plus productives. C'est la raison pour laquelle on peut s'attendre à ce que les options d'adaptation choisies par les filières et les territoires soient également très hétérogènes. Pour les systèmes de production qui pourraient tirer parti du changement climatique, une intensification de la production pourrait être privilégiée, à l'image des études de cas «Cultures industrielles en Picardie», «Polyculture élevage dans la Meuse» et «Élevage ovin dans les Hautes-Pyrénées». À l'inverse, pour les situations de vulnérabilité vis-à-vis du changement climatique, la spécialisation des territoires et la concurrence accrue entre ces derniers pourraient conduire à fragiliser certaines filières et à des réorientations voire des abandons de production, à l'image des études de cas «Viticulture dans le Beaujolais», «Mais dans les Landes» et «Élevage bovin allaitant en Haute-Vienne». Entre ces deux voies, on peut imaginer qu'une diversité d'options d'adaptation sera choisie en fonction des priorités et des avantages comparatifs de chaque territoire. Ont ainsi été imaginés dans ce scénario le développement de l'agroforesterie dans l'étude de cas «Arboriculture dans le Vaucluse» ou une déspecialisation laitière au profit des cultures de vente pour l'étude de cas «Bovin lait dans les Côtes-d'Armor». Ainsi, on peut penser que le scénario 3 aboutirait à une mosaïque de solutions pour le secteur agricole, recherchant toutes la compétitivité des productions, mais avec des niveaux d'adaptation au changement climatique très variables et des degrés de changement très hétérogènes d'un système à l'autre.

Tirés par la recherche de valorisation économique des ressources locales et d'indépendance vis-à-vis de l'extérieur, les choix en matière de gestion forestière dans ce scénario pourraient être nettement plus convergents que ceux faits par les exploitants agricoles. Ainsi, dans la plupart des études de cas forestières, le scénario 3 a été associé à des options d'adaptation visant la diversification des essences, permettant d'améliorer la résilience et de maintenir la production des forêts. Les investissements correspondants restent cependant importants et pourraient donc être limités aux zones ou essences les plus favorables, à l'instar de l'étude de cas «Chênaie du bassin de la Loire».

Dans ce scénario, des partenariats importants se nouent entre territoires aux intérêts communs et d'autres aux besoins complémentaires. Les territoires productifs s'associent par exemple entre eux pour répondre aux besoins alimentaires ou énergétiques des autres. Ces échanges pourraient donc modifier fortement les stratégies des territoires par rapport à ce que nous avons imaginé isolément pour chaque étude de cas. N'ayant pas qualifié les interactions possibles entre filières, il est difficile de se prononcer sur l'image possible des secteurs agricole et forestier dans ce scénario. Globalement, on peut imaginer que l'adaptation au changement climatique dans ce scénario sera très contrastée : certains systèmes de production seront adaptés à la marge pour rester performants et tirer parti de la hausse des températures en optimisant l'utilisation des ressources, tandis que d'autres seront modifiés plus en profondeur pour accroître leur capacité à encaisser des chocs et à s'adapter à des aléas climatiques. *A fortiori*, les conséquences environnementales d'une telle mosaïque de solutions d'adaptation seraient également diverses et contrastées, avec des territoires misant sur la préservation des ressources locales (eau, biodiversité patrimoniale, paysages, etc.) et d'autres délaissant les problématiques environnementales. Dans un tel scénario, la prise en compte des enjeux environnementaux globaux (climat, continuité écologique, etc.) pourrait s'avérer particulièrement problématique.

Le scénario 4 « Transition énergétique et environnementale » est évidemment marqué par la forte ambition environnementale et les actions les plus ambitieuses en matière de transformation des systèmes de production. Il se distingue également par une forte prise en compte de la multifonctionnalité des espaces agricoles et forestiers, conduisant à la recherche de compromis entre production alimentaire, biomasse et fourniture de services environnementaux. Dans le secteur agricole, cette orientation conduit à privilégier l'accroissement de l'autonomie et de la résilience des systèmes, la réduction des pressions sur l'environnement et des stratégies pro-actives d'adaptation au changement climatique. En productions animales, à l'image des études de cas « Bovin lait dans les Côtes-d'Armor », « Bovin allaitant en Haute-Vienne » et « Polyculture-élevage dans la Meuse », l'adaptation au changement climatique repose sur une extensification plus ou moins poussée de la production associée à la diversification des ressources fourragères et une recherche d'autonomie accrue en protéines. L'herbe et les légumineuses jouent un rôle important dans ces stratégies qui passent par des modifications importantes du système fourrager, de la conduite du troupeau et de l'organisation de l'exploitation. Ces évolutions sont rendues possibles par une certaine plasticité des systèmes d'élevage considérés et par des impacts modérés du changement climatique, qui ne les remettent pas totalement en cause. La situation est très différente pour les études de cas portant sur des zones où les effets du changement climatique devraient exacerber les tensions sur les ressources naturelles (notamment l'eau) et avoir des impacts très forts sur les systèmes de production étudiés. C'est le cas notamment des études de cas « Mais irrigué dans les Landes » et « Viticulture dans le Rhône » où l'adaptation au changement climatique pourrait passer par des réorientations productives, en faveur de cultures mieux adaptées aux nouvelles conditions climatiques et moins consommatrices en eau. Dans les autres secteurs de productions végétales, le scénario 4 est également associé à des transformations profondes des systèmes de production, visant conjointement une meilleure adaptation au changement climatique et une plus grande performance environnementale. Cela se traduit notamment par le développement de l'agroforesterie (étude de cas « Arboriculture dans le Vaucluse ») ou des techniques de l'agriculture de conservation (étude de cas « Grandes cultures dans le Cher » et « Cultures industrielles en Picardie »).

Dans le secteur forestier, le scénario 4 est également marqué par cette exigence environnementale mais aussi par le fort développement des énergies renouvelables offrant un important débouché pour les produits ou sous-produits forestiers. Les options d'adaptation associées à ce scénario dans les études de cas forêt recherchent donc très souvent le meilleur compromis possible entre production (de bois d'œuvre et de bois énergie), préservation de l'environnement (biodiversité) et gestion du risque climatique. Cela peut passer notamment par la plantation d'essences à croissance rapide et adaptées aux nouvelles conditions climatiques, en substitution d'une partie des essences présentes initialement, à l'image des études de cas « Chênaie du bassin de la Loire » ou « Forêt de Douglas en Limousin ». Le contexte pro-actif de ce scénario en matière de préservation de l'environnement et d'adaptation au changement climatique permet également d'envisager des stratégies d'adaptation plus ambitieuses que dans d'autres scénarios, y compris pour les forêts qui ne dégagent actuellement qu'une faible rentabilité. L'adaptation peut alors passer par la substitution d'essence : chêne sessile au lieu du chêne pédonculé ou encore introduction du cèdre pour l'étude de cas « Sapinière méditerranéenne ». La conciliation des enjeux de production, de prise en compte de l'environnement et d'adaptation au changement climatique n'est cependant pas toujours possible et des arbitrages seront parfois nécessaires, comme l'illustre l'étude de cas « Hêtraie en Haute-Saône ». Ces arbitrages dépendront des politiques publiques mises en œuvre (à condition qu'elles soient cohérentes) et des choix des gestionnaires.

Dans l'ensemble, et sans surprise, le scénario 4 est associé à un ensemble de transformations des systèmes de production agricoles et forestiers qui permet un haut niveau d'adaptation aux effets du changement climatique. Les options d'adaptation envisagées dans ce scénario, si elles devaient être assez largement adoptées en agriculture et sylviculture, conduiraient à des progrès significatifs sur plusieurs enjeux environnementaux, notamment la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la préservation de la biodiversité et l'économie des ressources naturelles. Cela montre qu'il peut y avoir des synergies entre adaptation et prise en compte des autres enjeux environnementaux, à condition cependant d'imaginer des changements qui peuvent être profonds dans les systèmes de production ou les essences forestières et que le contexte socio-économique s'y prête. Un tel scénario pose évidemment la question de l'accompagnement de telles transitions à la fois d'un point de vue technique, économique et organisationnel.

CONCLUSION DE LA TROISIÈME PARTIE

La construction de scénarios de contexte socio-économique et l'association de ces scénarios à l'une des options d'adaptation imaginées dans chacune des études de cas a permis de réfléchir aux facteurs favorisant les actions d'adaptation dans les secteurs agricoles et forestiers. Ces analyses éclairent ainsi les marges de manœuvre pour favoriser l'adaptation et les possibilités de trouver des synergies entre l'adaptation aux changements climatiques et d'autres enjeux forts pour l'agriculture et la forêt (production, économie, environnement, etc.).

CONCLUSION GÉNÉRALE

UNE DÉMARCHE ASCENDANTE, ANCRÉE DANS LA RÉALITÉ DES SYSTÈMES DE PRODUCTION

Les conséquences du changement climatique pour les activités agricoles et forestières sont importantes à moyen terme mais difficiles à percevoir et à anticiper pour les acteurs concernés. Les changements dans le régime des précipitations et les températures sont en effet progressifs, voire insidieux, et les transformations des systèmes de production qu'ils rendront nécessaires ne sont pas toujours faciles à se représenter. La perception qu'en ont sur le terrain les agriculteurs, les gestionnaires forestiers et l'ensemble de leurs partenaires est donc au cœur de la problématique de l'adaptation au changement climatique.

L'originalité et le parti pris de la prospective Agriculture Forêt Climat ont donc été de construire la réflexion sur l'étude de quatorze cas concrets d'exploitations agricoles et de forêts, couvrant une large diversité de contextes pédoclimatiques et de productions. La mobilisation d'outils de modélisation du climat, grâce à l'expertise du département d'agrométéorologie de Météo-France, a permis une estimation chiffrée de l'évolution attendue des paramètres agroclimatiques locaux. Les apports de la littérature scientifique et l'expertise des membres du groupe ont ensuite été mobilisés pour les traduire en impacts sur les cultures et les peuplements forestiers, tant quantitatifs que qualitatifs.

Ce mode de travail a donné à voir concrètement les conséquences du changement climatique. Au plus près des décisions opérationnelles que devront prendre les agriculteurs et les gestionnaires forestiers, il permet d'imaginer des solutions techniques réalistes pour en diminuer les effets négatifs et en saisir les opportunités. Des pistes d'action concrètes ont donc pu être imaginées pour chacune des études de cas, en fonction des caractéristiques de l'exploitation agricole ou de la forêt étudiée. Elles illustrent la diversité des solutions techniques qui peuvent être mises en œuvre tout en intégrant explicitement les liens entre l'adaptation au changement climatique et les autres enjeux auxquels doivent faire face les exploitations agricoles et les forêts. La conduite de l'ensemble du raisonnement à l'échelle du système d'exploitation permet en effet de prendre en compte qualitativement les atouts, les faiblesses, les spécificités locales et les contraintes de chaque système. Rassemblant quatorze études de cas contrastées, la prospective AFClim constitue donc à la fois un outil intéressant pour penser les enjeux de l'adaptation, un support pédagogique pour mettre en discussion ces résultats et une méthode transposable, par exemple à des échelles géographiques plus fines.

Cependant, la mise en œuvre d'actions d'adaptation n'est évidemment pas qu'une question technique et la conduite de politiques publiques favorisant cette adaptation doit s'abstraire des spécificités de chaque cas particulier. La dernière phase de la prospective AFClim a donc cherché à inscrire les études de cas dans un contexte plus large, permettant à la fois de s'interroger sur les facteurs socio-économiques favorables ou défavorables aux actions d'adaptation et de tirer des enseignements de l'ensemble de la démarche. Quatre scénarios de contexte ont ainsi été élaborés et les options d'adaptation imaginées dans les études de cas ont été associées à chacun d'entre eux. En allant au-delà de la faisabilité technique des options, ce travail a mis en évidence les principaux freins et moteurs potentiels en matière d'adaptation des systèmes agricoles et forestiers au changement climatique.

Pour mener à bien l'ensemble de ces réflexions, le caractère volontairement pluridisciplinaire de la démarche, concrètement exprimé dans la mobilisation d'un groupe de travail réunissant des chercheurs et des acteurs d'horizons variés, a été une force. Dans un même esprit de cohérence, le traitement conjoint de l'agriculture et de la forêt était un autre parti pris important de la démarche. Ces deux secteurs sont en effet trop souvent séparés dans les travaux d'analyse, de recherche ou de prospective qui leur sont consacrés, alors qu'il existe entre agriculture et forêt de nombreuses concurrences et complémentarités, en particulier vis-à-vis de l'enjeu de l'adaptation, qui méritent une analyse conjointe. L'intégration de l'agriculture et de la forêt dans un même exercice de prospective a été riche et intéressante, même si les spécificités de ces deux secteurs et les horizons de temps très différents qu'ils mobilisent ont limité les possibilités d'analyse globale. Il n'en reste pas moins que la confrontation des points de vue, la

complémentarité des expertises et la richesse des discussions, tout au long de cet exercice, ont été des éléments clés de la démarche et offrent *in fine* une vision large et transversale de la question de l'adaptation au changement climatique dans les secteurs agricoles et forestiers.

UNE PORTÉE GÉNÉRALE LIMITÉE PAR LES CHOIX MÉTHODOLOGIQUES ET LES INCERTITUDES

Si la démarche de la prospective AFClim est originale et apte à mobiliser les acteurs des secteurs agricoles et forestiers autour d'une réflexion sur les enjeux de l'adaptation, elle présente cependant des limites qu'il ne faut pas minimiser. Nous avons ainsi volontairement simplifié l'approche du changement climatique en ne retenant qu'un seul scénario d'émissions de GES (A1B) et en privilégiant un horizon de temps intermédiaire (2050). Ces choix conduisent à minimiser les incertitudes sur l'ampleur du changement climatique et à ne pas étudier des bouleversements beaucoup plus profonds qui pourraient être induits par le réchauffement. Le choix du scénario A1B du GIEC, qui pouvait être considéré comme un scénario moyen lors de la conception de cet exercice, semble aujourd'hui assez optimiste après l'échec des négociations climatiques internationales à Durban puis à Doha sur la limitation des émissions de GES.

Les projections climatiques utilisées dans cet exercice sont donc à prendre avec précaution : elles font apparaître des conséquences potentielles du changement climatique mais ne doivent pas faire oublier que des effets plus délétères ou survenant plus rapidement ne peuvent être exclus. C'est particulièrement le cas pour la forêt compte tenu des horizons de temps beaucoup plus longs à prendre en considération dans ce secteur de production. Une autre limite significative de l'exercice réside dans l'absence de prise en compte des événements climatiques extrêmes (tempêtes, inondations, canicules). La prospective AFClim s'est ici heurtée aux limites des connaissances scientifiques et des capacités de modélisation disponibles sur le changement climatique. Si certains éléments suggèrent qu'un climat plus chaud sera aussi plus instable, favorisant la récurrence d'événements climatiques extrêmes, il n'est pas possible, en l'état actuel des connaissances, d'estimer précisément la fréquence de tels aléas, ni *a fortiori* de la projeter dans les cas étudiés ici. Nous avons donc raisonné tout au long de l'exercice sur les modifications moyennes du climat auxquelles devront s'adapter les exploitations agricoles et les forêts étudiées. Comme aujourd'hui, et probablement de manière plus fréquente, les productions agricoles et forestières devront aussi faire face à des accidents climatiques plus marqués.

La méthode retenue pour l'exercice a également limité les possibilités de généralisation des résultats obtenus. Il s'agit du revers de la médaille d'une approche basée sur des cas concrets, qu'il serait hasardeux d'étendre trop vite à l'ensemble des filières ou des situations pédoclimatiques. Le raisonnement à l'échelle de l'exploitation n'a pas non plus permis d'étudier en détail des actions d'adaptation ayant une dimension collective ou concertée, que ce soit à l'échelle d'une filière ou d'un territoire par exemple. La prospective AFClim n'aboutit donc pas à des scénarios globaux à l'échelle nationale concernant l'adaptation au changement climatique pour l'ensemble de l'agriculture et des forêts françaises. Pour cette même raison et parce que ce n'était pas l'objet de cet exercice, on ne trouvera pas non plus en conclusion une liste de préconisations détaillées sur les politiques d'adaptation en agriculture et en forêt. Cela n'interdit pas en revanche de tirer les enseignements de la démarche, de détailler les pistes d'action concrètes et de préciser les prolongements possibles, tels qu'ils sont apparus tout au long du travail.

UN ENSEMBLE DE LEVIERS DÉJÀ EXISTANTS FACE AUX DÉFIS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les analyses menées dans le cadre de cet exercice montrent bien que le changement climatique aura des conséquences sérieuses pour les activités agricoles et forestières. Les études de cas donnent à voir les impacts potentiels du réchauffement et les conséquences négatives qu'il pourrait engendrer en l'absence d'actions d'adaptation. Compte tenu des connaissances scientifiques disponibles sur le climat et sur les systèmes de production agricoles et forestiers, il n'y a aucun doute à avoir sur l'importance de l'enjeu et la nécessité d'engager rapidement des actions d'adaptation. Les analyses que nous avons conduites et les travaux scientifiques disponibles sur le sujet montrent qu'il existe des marges de manœuvre techniques et organisationnelles pour faire face aux effets du changement climatique. De nombreux leviers peuvent être actionnés, dont certains ont pu être illustrés dans les différentes études de cas. Si la nécessité de l'adaptation de l'agriculture et de la forêt soulève de nombreux défis, ceux-ci ne sont pas insurmontables.

À la lumière des cas étudiés, la question de la ressource en eau constitue un enjeu particulièrement aigu. En effet, les effets prévisibles du changement climatique conduiront globalement à exacerber les tensions sur cette ressource en France. Or l'irrigation est très largement considérée aujourd'hui comme la première réponse au changement climatique par les acteurs du monde agricole, parfois au détriment d'une réflexion sur les autres leviers d'action possibles. Si l'irrigation fait partie de la gamme d'outils mobilisables pour s'adapter aux conséquences du changement climatique, il faudra mobiliser ce levier de façon adaptée au contexte pédoclimatique et hydrologique de chaque territoire. Une systématisation de l'irrigation n'est pas soutenable dans certaines régions qui connaissent déjà d'importantes tensions sur cette ressource et qui verront la disponibilité en eau se réduire avec le changement climatique. Un récent rapport prospectif du Centre d'Analyse Stratégique³ *Les risques stratégiques de la gestion quantitative de l'eau en France et les perspectives d'adaptation à l'horizon 2030* conforte le fait que certaines régions pourront connaître de fortes tensions sur l'eau dans les décennies à venir (bassins Adour-Garonne et Seine-Normandie notamment). Les auteurs concluent que s'il convient « d'étudier dès à présent des solutions de sécurisation de l'approvisionnement en eau pour certaines zones à risques », il est également indispensable de favoriser une agriculture économe en eau, d'autant que le secteur agricole « pourrait servir de variable d'ajustement face aux usages plus prioritaires tels que l'eau potable ou le refroidissement des centrales » (Godot, 2013).

Dans ce contexte, il est légitime d'agir à la fois sur la demande, en réduisant les besoins des cultures et en améliorant l'efficacité de l'utilisation de l'eau, et sur l'offre, par le développement de la ressource (soutien d'étiage, retenues de substitution), là où il est compatible avec les objectifs de gestion équilibrée et durable de la ressource en eau.

La création de vastes réservoirs nécessite des investissements publics importants et les sites les plus favorables sont d'ores et déjà équipés. En tout état de cause, il s'agit d'une option qui ne peut être envisagée qu'au cas par cas, sur la base d'une analyse coûts-bénéfices couvrant l'ensemble des usages et en tenant compte des contraintes techniques et environnementales propres à chaque site (cf. toutes choses exigées par les législations relatives à la déclaration d'utilité publique et aux études d'impacts). Une autre option, très largement mise en avant par les acteurs du monde agricole, est la réalisation de nouvelles retenues collinaires. Si l'intérêt de cette option doit là aussi être examiné au cas par cas, il ne faut pas en minimiser les limites : impact environnemental et sur les finances publiques lorsque ces ouvrages sont subventionnés, répartition de la ressource en eau, problèmes éventuels de sécurité (qualité des ouvrages, risques sanitaires liés aux eaux stagnantes). À l'image de ce qui a été fait dans les études de cas, il semble donc indispensable que la disponibilité en eau, présente et future, soit systématiquement intégrée à toutes les réflexions, nationales ou locales, sur l'adaptation de l'agriculture au changement climatique. Des études approfondies portant à la fois sur les effets environnementaux, le partage de la ressource entre secteurs d'activités et les évolutions prévisibles des systèmes agricoles concernés devraient être conduites préalablement à tout développement de l'irrigation. Enfin, la mobilisation de

3. http://www.strategie.gouv.fr/system/files/2013-04-03-_risques-gestion-quantitative-eau-frances2030-na328-volet3_2.pdf

l'irrigation devrait être conçue comme un des outils dans une stratégie plus globale visant à accroître la résilience des systèmes de production aux effets du changement climatique.

Dans cette optique, les études de cas de la prospective AFClim ont permis d'illustrer plusieurs leviers techniques mobilisables pour l'adaptation de l'agriculture et de la forêt. Ces leviers font l'objet de nombreux travaux de recherche et de développement. Un premier ensemble de solutions consiste à adapter les interventions agricoles et sylvicoles pour faire face au stress hydrique : décalage des périodes de pâturage, adaptation des interventions sylvicoles, stratégies d'esquive en grandes cultures, etc. Le positionnement optimal du cycle de production est à rechercher en fonction de la variabilité et de l'intensité des contraintes climatiques. Les capacités à disposition des acteurs pour mesurer et anticiper les effets du changement climatique sont alors des éléments clés pour la bonne mise en œuvre de ces actions.

Un second ensemble de leviers techniques mobilisable consiste à se tourner vers des cultures ou des essences mieux adaptées aux conditions climatiques futures. Il peut s'agir par exemple de recourir, pour une même culture, à des variétés tolérant mieux les stress biotiques et abiotiques, ce qui nécessite de développer et d'amplifier les travaux de recherche et de sélection variétale en ce sens. Pour autant, il ne faut pas surestimer les marges de progrès possibles par cette voie, ce qui plaide pour explorer simultanément les possibilités de remplacement par de nouvelles espèces, plantes fourragères ou essences forestières intrinsèquement mieux adaptées à des conditions plus sèches. Leur développement passera notamment par la structuration en aval de filières de valorisation et la fourniture en amont de références technico-économiques et d'un conseil technique adapté.

Enfin, un dernier ensemble de leviers techniques vise à accroître la résilience du système de production face aux aléas climatiques. La diversification constitue l'élément central d'une telle stratégie et peut conduire à une refonte de l'ensemble du système de production. Ces trois ensembles de leviers techniques ne sont pas mutuellement incompatibles et peuvent même agir en synergie pour accroître l'adaptation des systèmes agricoles et forestiers au changement climatique, en recherchant une combinaison pertinente et adaptée aux réalités de terrain. Cette combinaison de moyens d'action dépendra d'une part de la fréquence et de l'intensité des périodes de stress climatique et, d'autre part, des conditions techniques et économiques dans lesquelles les agriculteurs et les propriétaires forestiers seront amenés à prendre leurs décisions.

Ces leviers techniques au service de l'adaptation au changement climatique devront être mobilisés sans entraver et, si possible, en synergie avec les autres objectifs économiques, sociaux et environnementaux assignés aux secteurs agricoles et forestiers. Le travail exploratoire conduit dans le cadre de la prospective AFClim montre qu'il n'y a pas nécessairement convergence en la matière. Certains territoires pourraient par exemple être fragilisés par la disparition d'activités agricoles ou forestières sensibles au changement climatique. Ailleurs, des tensions fortes sur la ressource en eau sont prévisibles, en l'état actuel des systèmes de production.

Pour autant, concilier adaptation au changement climatique et durabilité de l'agriculture et de la forêt n'est pas hors de portée. Les études de cas ont ainsi montré que l'on peut améliorer conjointement la résilience des systèmes de production et leurs performances économiques et environnementales. La diversification des essences forestières, le recours aux prairies multispécifiques en élevage ou l'introduction de tournesol ou de sorgho (qui mobilisent peu d'intrants de synthèse) sont quelques exemples de leviers techniques d'adaptation qui permettent d'améliorer également les performances environnementales des systèmes de production agricoles et forestiers. Ces solutions performantes à la fois en termes d'adaptation au changement climatique et de durabilité nécessitent cependant le plus souvent des évolutions profondes des systèmes de production et posent explicitement la question de l'accompagnement par la recherche, les politiques publiques et les acteurs du développement agricole et forestier.

DES SYNERGIES À AMPLIFIER ENTRE POLITIQUES PUBLIQUES, RECHERCHE ET ACTEURS DU MONDE AGRICOLE ET FORESTIER

Le « passage à l'acte » en matière d'adaptation au changement climatique soulève des difficultés particulières car le problème posé est, comme nous l'avons vu, difficile à appréhender pour l'ensemble des acteurs concernés. Le changement climatique est en effet un phénomène complexe, qui met en jeu des horizons de temps assez lointains et qui n'est pas directement perceptible. Distinguer des tendances dues au réchauffement dans un climat qui est par nature fortement variable nécessite un travail intellectuel spécifique d'analyse et de projection. Cela peut conduire à ce que les effets négatifs du changement climatique se déploient de manière très insidieuse, sans conduire à une appropriation et à des réponses pour les secteurs et les acteurs qui les subiront.

Les politiques publiques ont alors un rôle à jouer, en mettant en place les normes et les incitations économiques permettant d'orienter les acteurs vers des stratégies robustes et durables d'adaptation. Cela plaide pour que l'adaptation au changement climatique soit incluse systématiquement dans la conception et le pilotage des politiques agricoles et environnementales, et inversement que les actions en faveur de l'adaptation soient conçues pour entrer en synergie avec d'autres enjeux clés, notamment la réduction des émissions de GES et des pressions sur l'environnement. La prospective AFClime montre que les politiques publiques devront également s'adapter au changement climatique, d'abord en supprimant les obstacles qu'elles peuvent constituer aux stratégies d'adaptation. L'assouplissement des réglementations limitant les possibilités de recours à des essences forestières « exotiques », pourtant mieux adaptées au climat de demain, constituent un bon exemple de question qu'il ne faudra pas éluder. Par ailleurs, les politiques publiques devront accompagner l'adaptation des règles de production des AOC qui, dans la mesure où elles se fondent sur le lien entre un terroir et la typicité d'un produit, sont confrontées à un défi plus important encore. En outre, la complexité du sujet de l'adaptation et les synergies à construire avec d'autres enjeux majeurs pour l'agriculture et la forêt plaident pour des politiques publiques renouvées, plus stratégiques et plus systémiques. Il convient notamment d'éviter que l'adaptation ne soit ou n'apparaisse aux yeux des acteurs que comme une couche de contraintes ou d'attentes supplémentaires qui leur seraient adressées.

L'adaptation au changement climatique doit donc être intégrée de façon transversale aux modes de pensée et de fonctionnement des secteurs agricoles et forestiers. Les acteurs de la recherche et du développement pourront contribuer largement à cette évolution. Des ressources scientifiques et des outils de grande qualité ont d'ailleurs été développés récemment sur le sujet et peuvent être mobilisés pour poursuivre ce travail de compréhension et d'analyse des effets prévisibles du changement climatique. La diffusion la plus large possible de ces ressources et leur mise au service des acteurs concernés nous semblent des éléments clés dans la progression vers une meilleure adaptation au changement climatique pour l'agriculture et la forêt. C'est évidemment le cas du livre vert du projet Climator sur lequel nous nous sommes largement appuyés tout au long de cet exercice et qui vient d'être réédité avec le soutien de l'ADEME¹. Nous pensons également aux travaux d'analyse des effets du changement climatique sur les prairies menés par l'Institut de l'élevage. Enfin, le portail de Météo-France Drias – les futurs du climat² offre un ensemble de ressources et de données très riches et facilement accessibles sur les projections climatiques régionalisées réalisées dans les laboratoires français de modélisation du climat (IPSL, CERFACS, CNRM-GAME). L'effort de sensibilisation des acteurs aux effets du changement climatique et d'animation de la réflexion sur les actions d'adaptation, déjà impulsé par l'Observatoire national des effets du réchauffement climatique³, pourrait notamment s'intensifier par la structuration d'observatoires régionaux du changement climatique. De telles structures pourraient à la fois mutualiser les données et expertises disponibles, construire des projections régionalisées des effets du réchauffement sur les principaux secteurs économiques et animer des travaux de réflexion sur les actions d'adaptation. Ces observatoires devraient notamment veiller à la vulgarisation des connaissances, à la mise à disposition

1. L'ouvrage est disponible, contre simple remboursement des frais d'envoi, en s'adressant à la chambre régionale d'agriculture de Poitou-Charentes. Contact : frederic.levrault@poitou-charentes.chambagri.fr

2. Site <http://www.drias-climat.fr>

3. Site www.onerc.gouv.fr

de données ou d'informations facilement appropriables par les acteurs ainsi qu'au partage d'expériences et remontées de terrain (validation et diffusion de pratiques, déploiements d'indicateurs, etc.).

SENSIBILISATION, FORMATION ET ACCOMPAGNEMENT : CLÉS DE L'ÉVOLUTION DES SYSTÈMES

La question de l'appropriation des enjeux du changement climatique par l'ensemble des acteurs des filières est donc centrale. Les résultats d'enquêtes sur la perception de ce phénomène, présentés dans cet exercice, l'ont bien montré. En effet, la difficulté de perception du changement climatique, le caractère diffus et lointain de ses effets entretiennent chez les acteurs agricoles et forestiers, comme dans d'autres secteurs économiques, une tendance à l'attentisme face à ce défi. Cela peut amener les acteurs concernés à l'inaction ou à la demande de solutions « clés en main ». Or l'adaptation au changement climatique et son intégration aux autres enjeux auxquels doivent faire face les agriculteurs et les propriétaires forestiers nécessitent à l'inverse une attitude pro-active, la recherche d'information, l'expérimentation et une forte capacité d'apprentissage. La formation initiale et l'accompagnement technique auront un rôle majeur à jouer pour développer cette « culture de l'adaptation ». La large diffusion des ressources scientifiques et techniques disponibles sur le sujet, évoquée précédemment, pourra également y contribuer. Les pouvoirs publics doivent également jouer un rôle, en mettant évidemment en œuvre une politique d'adaptation au niveau national (d'ores et déjà engagée⁴), mais également en encourageant et en accompagnant les acteurs dans la réalisation d'exercices de prospective sur les effets du changement climatique et les actions d'adaptation au niveau local, ainsi que dans la mise en œuvre d'expérimentations et d'innovations collectives.

À cet égard, il est important de noter que l'adaptation au changement climatique nécessitera une coordination importante entre acteurs. En effet, la plupart des options d'adaptation identifiées dans cet exercice comporte une forte dimension collective, suggérant que l'accompagnement des seuls agriculteurs ou des seuls propriétaires forestiers ne sera pas suffisant. Par exemple, toutes les options basées sur de nouvelles techniques, mieux adaptées aux conditions climatiques futures (variétés tolérantes à la sécheresse par exemple) requièrent un important travail de recherche-développement en amont de leur diffusion et un conseil technique adapté lors de leur mise en œuvre. De même, les options relevant de stratégies de diversification ou de remplacement (des cultures, des essences ou des productions) supposent une adaptation conjointe des filières en aval pour assurer un débouché commercial. Ainsi, comme l'ont souligné Meynard *et al.* (2013), la dimension collective et la coordination entre acteurs sont fondamentales pour lever certains verrous : « L'insuffisance de la structuration des filières et de la coordination entre les acteurs, de l'aval à l'amont, semble constituer une cause majeure de l'échec de la construction de certaines filières de diversification. » En outre, le travail de contextualisation des options d'adaptation, présenté dans la troisième partie de ce rapport, montre que les voies d'adaptation des systèmes agricoles et forestiers au changement climatique sont très dépendantes du contexte socio-économique. Peu de stratégies « sans regrets » ou de leviers applicables dans tous les scénarios ne se dégagent, ce qui suggère la nécessité d'actions d'adaptation ciblées en fonction des caractéristiques des exploitations agricoles ou des forêts concernées et de leur environnement socio-économique.

La pierre angulaire de toute stratégie efficace d'adaptation en agriculture et en forêt nous semble donc consister en un effort soutenu de sensibilisation au sujet, de vulgarisation des connaissances disponibles et d'animation de terrain pour en faciliter la compréhension commune par l'ensemble des acteurs concernés. Le monde de la recherche, les pouvoirs publics et les acteurs de la formation et de l'accompagnement technique des agriculteurs et des forestiers ont évidemment un rôle clé à jouer en la matière. À sa modeste échelle, il s'agit évidemment d'un des objectifs de la prospective AFClm. Il nous semble en particulier que les études de cas constituent un outil particulièrement efficace et assez facilement reproductible pour lancer une réflexion sur l'adaptation. C'est pourquoi nous avons souhaité qu'elles soient au cœur de cet ouvrage et que nous avons très largement détaillé leur méthodologie.

4. Plan national d'adaptation au changement climatique, 20 juillet 2011. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Le-Plan-national-d-adaptation,22978.HTML>

Cette prospective est donc un point de départ : elle appelle dès aujourd'hui à l'ouverture de nouveaux chantiers, au sein des territoires ou des filières. En sensibilisant à leur tour les acteurs du monde agricole et forestier aux bouleversements en cours du climat, ces travaux doivent contribuer à la nécessaire évolution des modes de pensée et à la transformation profonde des pratiques, pour conduire à des systèmes de production plus durables et plus résilients face au changement climatique.

ANNEXES

Annexe 1 : Calendrier de travail du groupe AFCLim

Annexe 2 : Micro-scénarios et construction
des scénarios de contexte

Annexe 3 : Liste des sigles

Annexe 4 : Glossaire

Annexe 5 : Bibliographie

ANNEXE 1.

CALENDRIER DE TRAVAIL DU GROUPE AFCLIM

- Séance 1** 5 octobre 2011
Installation du groupe, cadrage, méthodologie.
- Séance 2** 2 novembre 2011
Point sur les connaissances sur le changement climatique. Choix des études de cas.
- Séance 3** 19 janvier 2012
Études de cas « Grandes cultures dans le Cher » et « Arboriculture dans le Vaucluse ».
- Séance 4** 16 février 2012
Études de cas « Bovin lait dans les Côtes-d'Armor » et « Viticulture dans le Beaujolais ».
- Séance 5** 16 mars 2012
Études de cas « Cultures industrielles dans la Somme » et « Ovin viande dans les Hautes-Pyrénées ».
- Séance 6** 10 avril 2012
Études de cas « Maïsiculture dans les Landes » et « Pin maritime dans les Landes ».
- Séance 7** 3 mai 2012
Études de cas « Sapinière méditerranéenne » et « Chênaie du bassin de la Loire ».
- Séance 8** 12 juin 2012
Études de cas « Hêtraie en Haute-Saône » et « Douglas dans la Creuse ».
- Séance 9** 12 juillet 2012
Élaboration des scénarios de contexte.
- Séance 10** 19 septembre 2012
Travail en ateliers : croisements scénarios/options d'adaptation.
- Séance 11** 21 novembre 2012
Analyse stratégique. Enseignements de la démarche.

ANNEXE 2.

MICRO-SCÉNARIOS ET CONSTRUCTION DES SCÉNARIOS DE CONTEXTE

Cette annexe détaille tout d'abord le contenu des micro-scénarios élaborés pour chacune des quatre composantes et présente ensuite la combinaison des micro-scénarios réalisée par le groupe AFCLim pour construire les scénarios de contexte.

COMPOSANTE « ACTEURS DE LA PRODUCTION AGRICOLE ET FORESTIÈRE »

Micro-scénario « Réseaux territoriaux »

■ Esprit du micro-scénario

- Décentralisation, structuration régionale des filières
- Dialogue agriculture-société refondé sur l'attachement au territoire et la contribution au développement local
- Diversité des filières et des produits forestiers

■ Facteurs favorables

- Décentralisation et subsidiarité au profit des régions
- Capacité d'innovation et de mise en réseau des acteurs territoriaux

■ Acteurs moteurs

- Régions et collectivités territoriales
- Chambres d'agriculture et acteurs du développement local
- Consommateurs

■ Résumé

Un large mouvement de décentralisation anime les politiques publiques. La gestion des affaires agricoles et forestières est organisée au niveau régional. En forêt, des forums réunissant les acteurs des territoires (sylviculteurs, entreprises privées et collectivités) se mettent en place. En parallèle de ce mouvement politique, une inflexion sociale dans le système de valeurs liées au travail, à la famille et aux modes de vie se traduit en agriculture par une augmentation des installations et une diversification des profils. La profession se féminise (40% de femmes en 2050). La régionalisation profite pleinement à ces nouveaux acteurs, bien représentés au niveau local. On assiste ainsi à une structuration régionale des filières et à une valorisation beaucoup plus forte des services non marchands fournis par l'agriculture et la forêt. Les objectifs de développement agricole varient fortement selon les territoires. Les nouvelles mises en réseau échappant à l'État centralisateur et en l'absence de péréquation nationale, on observe une accentuation des différences et disparités

régionales, et une dépendance de certaines régions pour les denrées non produites sur leur territoire. En agriculture, de nombreux projets se développent sur des petites exploitations. Le vieillissement de la population diminue et le brassage génère de nouveaux modes d'organisation et de gestion des exploitations. En parallèle de ces exploitations diversifiées se maintient une agriculture plus industrielle. La polarisation du monde agricole contribue à plus d'ouverture et de pluralisme dans les instances de concertation et de décision. Le poids de la société civile, la diversité des modèles agricoles, l'influence des autres acteurs territoriaux s'accroissent. Les chambres d'agriculture sont profondément réformées à partir de 2015. Leur représentativité s'élargit et leur légitimité se renforce en tant que coordinateurs territoriaux du développement agricole. La filière bois se « relocalise » : petites industries innovantes de valorisation des essences locales, produits semi finis et finis pour la construction et énergie, etc.

Micro-scénario « Mobilisation autour du développement durable »

■ Esprit du micro-scénario

- Mobilisation de l'ensemble des acteurs et de leurs partenaires pour une transition environnementale en agriculture et en forêt
- Attitude pro-active sur l'adaptation
- Innovation et transformations profondes des pratiques

■ Facteurs favorables

- Montée en puissance de la préoccupation environnementale, pression sociétale et réglementaire forte

■ Résumé

Une succession de crises liées au climat (sécheresses, tempêtes) favorise la prise de conscience chez les acteurs de vulnérabilités dans les systèmes de production, les essences ou les filières. Une politique nationale volontariste permet d'engager une véritable transition environnementale (objectifs ambitieux, soutiens publics importants, efforts dans la recherche). De nouveaux acteurs innovants, pleinement conscients des enjeux environnementaux et climatiques, impulsent des changements dans la gouvernance des secteurs agricoles et forestiers, qui évoluent vers plus d'ouverture, des médiations plus fréquentes avec la société et la généralisation de logiques contractuelles. La responsabilité sociale et environnementale des entreprises agro-alimentaires et forestières s'accroît et beaucoup de filières s'organisent en conséquence, en développant des filiales régionales adaptées

- Plafonnement des rendements et effets perceptibles du changement climatique
- Taxation du carbone et valorisation économique du stockage

■ Acteurs moteurs

- Nouveaux profils d'acteurs innovants (agriculteurs et forestiers)
- Associations d'environnement
- État et collectivités territoriales

au contexte, s'approvisionnent plus localement, en misant sur la valeur ajoutée et les productions sous labels. Dans les années 2020, le nombre d'agriculteurs se stabilise et leurs profils se diversifient fortement sous l'effet d'une augmentation des installations hors cadre familial et d'une offre de formation plus riche et plus transversale. L'intégration du changement climatique dans une réflexion plus large sur l'évolution des systèmes et des pratiques à court et moyen termes est appuyée par l'ensemble des acteurs du développement agricole et du conseil aux forestiers. L'évolution vers de nouveaux modèles de production à plus faible impact environnemental est perçue par les acteurs comme une nécessité et une opportunité. La tendance à l'agrandissement des exploitations agricoles est ralentie et les grandes exploitations cohabitent avec de petites unités.

Micro-scénario « Filières et marchés »

■ Esprit du micro-scénario

- L'agriculture et la forêt deviennent des secteurs économiques « comme les autres » : disparition des instances spécifiques, forte diminution de l'influence des syndicats et des coopératives
- Dérégulation du Code forestier
- Logique économique et organisation par filières, pilotage des filières par l'aval
- Focalisation sur les enjeux de production, objectif de compétitivité

■ Résumé

On assiste à un repli de la place de l'agriculture et de la forêt dans le contrat social français (représentations et schémas politiques). Les formes spécifiques de la régulation économique de ces secteurs sont progressivement démantelées. Les questions environnementales et rurales sont délaissées au profit d'un modèle avant tout économique. Cette politique entraîne une diminution du nombre d'agriculteurs plus rapide que la tendance : forte restructuration en grande culture et viande et plans de soutien aux producteurs de fruits et légumes visant les exploitations existantes. La gestion du système de développement agricole est peu à peu abandonnée par l'État : la mise en œuvre du conseil est largement prise en main par le secteur privé dans une logique de filières. La tutelle de l'ONF est progressivement abandonnée par l'État. Peu à peu, la gestion forestière est dominée par de grands acteurs (coopératives, fonds

■ Facteurs favorables

- Globalisation et urbanisation croissantes
- Réduction tendancielle du poids démographique, économique et politique des agriculteurs
- Désintérêt pour les questions d'environnement et de ruralité

■ Acteurs moteurs

- Marchés
- Grandes coopératives et firmes agricoles et forestières
- Pouvoirs publics (par leur désengagement)

de pensions et entreprises mondialisées). Les acteurs forestiers et agricoles deviennent avant tout des chefs d'entreprise dont le niveau de qualification continue d'augmenter. Leur priorité est la recherche de gains de productivité. Le changement climatique fait l'objet de scepticisme voire de déni et un attentisme règne quant aux actions d'adaptation. Les acteurs font confiance dans la capacité des organismes de R & D à apporter des solutions techniques ou technologiques. Les consommateurs sont quant à eux déconnectés du monde agricole et forestier.

En poussant la logique de ce micro-scénario jusqu'à une logique de firme, on pourrait imaginer que le nombre d'acteurs agricoles et forestiers diminue fortement en raison d'un manque de compétitivité. On aurait en conséquence une déprise agricole et forestière, une restructuration importante de ces secteurs et un possible accaparement foncier dans une logique financière.

COMPOSANTE « DEMANDES ADRESSÉES À L'AGRICULTURE ET À LA FORÊT »

Micro-scénario « Une vision urbaine et utilitariste »

■ Esprit du micro-scénario

- Une demande de produits sains (nutrition/santé) qui domine des demandes hétérogènes en matière d'environnement et de production
- Production alimentaire prioritaire par rapport aux productions forestières et énergétiques
- Société urbaine avec profond désintérêt pour le monde rural (forêt y compris) et vision utilitariste de l'environnement

■ Résumé

Les demandes adressées à l'agriculture et à la forêt sont essentiellement liées à la santé et au cadre de vie. Les maladies liées à l'alimentation (obésité, crises sanitaires récurrentes, etc.) et aux pollutions (maladies respiratoires) prennent en effet de l'ampleur. En 2020, la situation financière très préoccupante de l'assurance-maladie contraint les pouvoirs publics à prendre des mesures fortes de prévention (subventions pour les produits à forte qualité nutritionnelle et taxes sur les produits trop gras, salés, sucrés). Les comportements alimentaires évoluent peu à peu, la part des végétariens passant de 2% à 20% en 2030, avec 50% de Français « flexitariens » (végétariens intermittents). Les allégations nutritionnelles se multiplient ainsi que l'agriculture bio et sont très valorisées dans les filières. Une vision utilitariste des services rendus par la forêt se développe. La demande de produits en bois s'accroît (meubles, jouets...) à cause des effets cancérigènes (réels ou supposés)

■ Facteurs favorables

- Fort développement de l'obésité et déficit de la sécurité sociale
- Éclatement de plusieurs crises sanitaires
- Forte érosion de l'image de l'agriculture dans la société
- Désintérêt pour les questions d'environnement et d'aménagement du territoire

■ Acteurs moteurs

- Acteurs et autorités en charge de la santé
- Consommateurs et filières

de certains plastiques. Les importations de bois s'amplifient. Les demandes environnementales et d'aménités paysagères ne sont pas très marquées (délaissées au profit d'un modèle avant tout sanitaire). On assiste à un désintérêt pour le monde rural, forêt y compris (sauf ceintures vertes péri-urbaines), et l'opinion publique est dominée par une vision largement négative de l'agriculture. La société continue à être surtout urbaine, avec un étalement des villes et un développement important du péri-urbain. L'agriculture française reste productive et exportatrice, les pouvoirs publics misant sur le secteur agricole pour contribuer à la balance commerciale et à la croissance. La demande alimentaire prime sur la demande en énergies issues de la biomasse agricole ou forestière. En 2050, la forêt est localement en recul car certaines terres forestières sont défrichées et cultivées et il y a peu de dialogue entre les professionnels de l'agriculture et de la forêt.

Micro-scénario « Terroir, environnement et multifonctionnalité »

■ Esprit du micro-scénario

- Fortes demandes pour une agriculture et une forêt multifonctionnelles
- Valorisation des productions locales et montée du nombre de néo-ruraux
- Agriculture et forêt vues comme complémentaires et vecteurs de développement territorial
- Société civile, agriculteurs, forestiers et pouvoirs publics mobilisés pour une transition environnementale

■ Résumé

La population souhaite des produits agricoles de bonne qualité sanitaire et nutritionnelle mais aussi à faible impact sur l'environnement. De plus en plus « éco-responsables », les consommateurs s'orientent vers des produits locaux et de saison, et privilégient les labels de terroir et/ou l'agriculture biologique. L'agriculture péri-urbaine et les associations pour le maintien d'une agriculture paysanne (AMAP) se développent fortement, répondant à une recherche de proximité entre producteurs et consommateurs. Les pouvoirs publics encouragent ce mouvement via des objectifs environnementaux ambitieux, l'obligation d'un affichage environnemental sur les produits agricoles et forestiers et la taxation du carbone ainsi que via les commandes publiques. Les certifications environnementales exigeantes se développent pour la forêt. S'expriment également des demandes d'aménités paysagères et de services environnementaux, qui sont rémunérés par les

■ Facteurs favorables

- Montée en puissance des préoccupations environnementales
- Augmentation de la demande de bois (matériau et énergie)
- Essor du télétravail et développement du tourisme vert

■ Acteurs moteurs

- Agriculteurs et forestiers
- État
- Consommateurs et associations d'environnement

politiques publiques. Les loisirs à la campagne et en forêt sont en essor, de même que l'installation de néo-ruraux en lien avec l'expansion du télétravail. La société est très intéressée par les enjeux agro-environnementaux au sens large et les citoyens se mobilisent régulièrement sur ces sujets. Les demandes en bio-énergies et biomatériaux se renforcent. Selon les régions, on mobilise des ressources forestières et/ou agricoles pour la production de biomasse. Les complémentarités entre agriculture et forêt s'amplifient : agroforesterie, taillis à courte ou très courte rotation, méthanisation et biocarburants de seconde génération, valorisation des haies, etc. La vocation multifonctionnelle de l'agriculture et de la forêt domine la vocation exportatrice. Ces secteurs sont vus comme vecteurs de développement territorial, de création d'emplois et d'aménités en zone rurale et comme moyens d'aller vers une meilleure autonomie énergétique.

Micro-scénario « Priorité à la production »

■ Esprit du micro-scénario

- Vocation productrice en volume et en débouchés extérieurs à la fois en agriculture et en forêt, avec un discours sur la sécurité alimentaire
- Pas d'exigence qualitative de la demande alimentaire
- Demande forte en bio-énergies
- Optimisation de la production sur les zones compétitives et protection environnementale résiduelle

■ Résumé

La vocation et le projet de l'agriculture française sont avant tout centrés sur la production et l'exportation. Le poids dans la balance commerciale extérieure française du secteur agro-alimentaire reste fort. L'alimentation doit rester bon marché pour préserver le pouvoir d'achat des Français. Le deuxième objectif est d'accroître l'autonomie énergétique du pays. La biomasse agricole et forestière est utilisée au maximum pour produire de l'énergie : développement du bois de chauffage, de la méthanisation, de l'énergie solaire « à la ferme » ainsi que des biocarburants de seconde génération. Pour la forêt, les travaux de plantation et de régénération apparaissent stratégiques pour extraire plus de volume de bois, avec des taillis à courtes rotations et la mise en place de nouvelles variétés sélectionnées. Localement, certains paysages de forêt mature changent. La production de bio-énergies et l'utilisation de biomatériaux sont croissantes, et des régions entières se spécialisent pour fournir de la biomasse végétale.

■ Facteurs favorables

- Maîtrise technologique (notamment en matière de biocarburants)
- Forte urbanisation
- Demande croissante d'aliments à bas prix

■ Acteurs moteurs

- Agriculteurs et IAA
- Consommateurs

Le secteur des biocarburants devient un débouché important pour l'agriculture. La segmentation et l'intégration des filières sont croissantes. Agriculture et forêt restent deux secteurs peu reliés. Des terres agricoles ou forestières en friche (zones difficiles, en pente, très sèches) sont laissées à l'abandon. Les demandes sociales d'aménités (paysage, loisirs) et de maintien d'habitats naturels pour leurs services écosystémiques sont très faibles et se restreignent à des zones particulières à enjeux ou aux zones non compétitives pour la production primaire. Il en résulte, en 2050, une dualité géographique dans l'exigence de qualité environnementale et d'aménités et une spécialisation importante des espaces. Cette vision se double d'une méconnaissance des métiers de l'agriculture et de la forêt par des citoyens très majoritairement urbains. Le régime alimentaire moyen est très carné et basé sur la quantité à faible coût. La part de l'alimentation dans le budget du ménage diminue. L'obésité reste un problème chronique.

COMPOSANTE « POLITIQUES PUBLIQUES ET GOUVERNANCE »

Micro-scénario « Régionalisme et bipolarisation des territoires »

■ Esprit du micro-scénario

- Dégradation continue des finances publiques qui incite l'État à engager un processus de décentralisation avancée pour limiter son rôle aux seules prérogatives régaliennes
- Émergence de collectivités puissantes, les territoires en concurrence se construisant alors autour de leurs avantages comparatifs initiaux
- Développement qui se polarise dans deux directions opposées : soit dans le sens d'un renforcement d'un tissu urbain préexistant, soit dans l'affirmation de la place centrale occupée par un monde rural et agricole dynamique

■ Résumé

Face à l'absence d'orientation nationale et suite à l'importance du rôle donné aux collectivités dans la conception des politiques publiques, celles-ci concentrent leurs moyens au renforcement de leurs atouts régionaux. La grande majorité des collectivités, dont l'économie repose principalement sur le secteur tertiaire, délaisse l'agriculture au profit d'un étalement du tissu urbain pour attirer de nouvelles populations dans ses villes. Les espaces agricoles et naturels sont surtout destinés à la production de biens publics, comme les produits de terroir, la préservation de la ressource en eau ou les paysages. Les territoires ruraux les plus dynamiques s'orientent au contraire vers un renforcement du secteur agricole, fortement soutenu par les politiques régionales et la PAC, dont les subventions importantes ne sont plus destinées qu'à ces seules régions. La production agricole et forestière est intensifiée et représente la majeure partie de la valeur ajoutée régionale. Des

■ Facteurs favorables

- Endettement croissant de l'État
- Dynamisme et capacités d'autofinancement des collectivités locales
- Moindre priorité accordée aux objectifs de convergence de l'Union européenne

■ Acteurs moteurs

- Collectivités locales et grandes métropoles
- Organisations professionnelles agricoles territoriales

complémentarités se développent entre régions, notamment en matière de politique énergétique, dont la production est de plus en plus décentralisée (diverses sources dont les énergies renouvelables), nécessitant le renforcement des réseaux. Les régions les plus urbanisées deviennent dépendantes des autres pour leur approvisionnement alimentaire. Des tensions apparaissent a contrario dans la gestion du foncier dont les valeurs deviennent de plus en plus hétérogènes. La gestion des usages de l'eau entre agriculture et consommation domestique devient conflictuelle, suite au déclin des agences de bassins qui ne peuvent plus adosser leur action à un cadre national. L'action publique en faveur du climat (atténuation et adaptation) n'est plus coordonnée au niveau national. En conséquence, les initiatives dans ce domaine sont très disparates, dépendant principalement de sensibilités régionales à ces problématiques.

Micro-scénario « Éclatement de l'Europe »

■ Esprit du micro-scénario

- Relance forte de l'activité par la dépense publique face à une crise économique persistante
- Politiques nationales interventionnistes, ambitieuses et centralisées, relativement indépendantes d'une Union européenne en déclin
- Politique agricole axée sur la compétitivité

■ Résumé

Confronté à la concurrence internationale et au déclin de l'Union européenne, l'État intervient fortement dans l'activité économique via des politiques publiques pensées à travers le prisme de la relance et de la compétitivité. Le soutien au secteur industriel en constitue le principal levier d'action. À cet égard, la France met en place une politique énergétique ambitieuse essentiellement axée sur l'offre et visant l'indépendance. Les instruments principaux en sont le nucléaire et le développement de nouvelles technologies (dont les énergies renouvelables). Seules les politiques environnementales directement concordantes avec les objectifs économiques de croissance sont mises en place. C'est en ce sens que les enjeux climatiques sont pris en compte, par exemple via le fort développement de la biomasse pour l'énergie, produite de manière intensive, et parfois au détriment de la conservation des milieux et de la

■ Facteurs favorables

- Concurrence internationale forte entre États membres

■ Acteurs moteurs

- État
- Grands groupes industriels (notamment IAA)

biodiversité. Pour favoriser le recours à l'irrigation, la politique de gestion de l'eau est vue sous l'angle de la ressource et de grandes infrastructures sont construites pour la mobiliser. Les règles d'aménagement du territoire contraignent les villes à se développer sur les terres les moins productives tandis que le foncier agricole à haut potentiel est sanctuarisé, sur lequel le mouvement d'agrandissement et de spécialisation des exploitations se poursuit. Une part importante des aides directes découplées de la PAC est recouplée à la production et leur pilotage devient principalement national. Les autres soutiens sont alors ciblés sur l'investissement et l'innovation, dans le but d'augmenter la performance économique des exploitations, fournisseurs de matières premières pour l'industrie. Le secteur forestier fait l'objet d'un soutien similaire dans le but d'alimenter la filière bois.

Micro-scénario « Libéralisation »

■ Esprit du micro-scénario

- Un État qui s'en tient au seul rôle de garant des libertés et qui minimise ses interventions dans la gestion des activités économiques
- L'action publique en repli dans tous les domaines au profit de la seule logique économique et des opérateurs privés
- Budget de la PAC en forte diminution, financiarisation de l'agriculture et de la production forestière

■ Résumé

La recherche de la compétitivité pousse au repli général de l'action publique. Les actions de régulation et d'organisation des marchés sont déléguées à des opérateurs privés. Ainsi, la PAC connaît une diminution drastique de son budget et les paiements directs sont progressivement diminués jusqu'à disparaître dans l'Union européenne à quinze. Seuls les nouveaux États membres continuent d'en bénéficier. Dans un premier temps, des aides de l'État français viennent accompagner la transition, puis elles sont peu à peu abandonnées. Les mesures de soutien du deuxième pilier connaissent aussi une forte baisse. Les compétences en matière d'orientation des politiques agricoles sont transférées aux régions. Jugés peu rentables, les investissements dans le secteur forestier sont très faibles et concentrés dans les zones les plus productives ou les plus attractives pour le tourisme. Les territoires, lancés dans une course à la compétitivité

■ Facteurs favorables

- Restrictions budgétaires et endettement élevé des États
- Puissance de certains acteurs industriels et financiers

■ Acteurs moteurs

- Union européenne
- Grands groupes internationaux

initiée par l'Europe, s'approprient leurs identités rurales pour les commercialiser s'il y a un intérêt économique à le faire. La prise en compte des externalités environnementales n'est pas encouragée par les pouvoirs publics. Concernant la politique climatique (atténuation et adaptation), après l'échec et la disparition du marché européen de quotas CO₂, seules des initiatives volontaires subsistent, relevant de stratégies de communication de la part des entreprises. Au niveau énergétique, la gestion des crises fait face à des contraintes budgétaires importantes ; elles sont régulées par le marché. La gestion des milieux est laissée au secteur privé : multiplication de labels et développement de critères environnementaux définis par les grands groupes privés. Les politiques d'aménagement du territoire donnent la priorité à la compétitivité et les orientations politiques visant la cohésion entre les territoires restent faibles.

Micro-scénario « New Deal vert »

■ Esprit du micro-scénario

- Nouvelle légitimité de certaines grandes politiques européennes (notamment la PAC) autour des grands enjeux de la lutte contre le changement climatique et de protection des milieux
- Politique climatique ambitieuse et ancrée dans le long terme par son inscription dans la Constitution
- Une politique énergétique qui favorise la diversification de l'offre en énergies renouvelables

■ Résumé

Les problématiques environnementales sont placées sur le devant de la scène politique et orchestrées par un État stratège et une Europe forte. Des politiques intégrées visant conjointement la protection des milieux et la lutte contre le changement climatique concernent tous les secteurs de l'économie, mais aussi les politiques d'aménagement du territoire qui privilégient la densification urbaine. Une politique énergétique ambitieuse est mise en place, axée sur la réduction des gaz à effet de serre par la diversification de la production énergétique et des investissements massifs dans la recherche et développement de technologies visant les économies d'énergies. Les politiques agricoles et le soutien au secteur forestier sont légitimés par la transition vers des modes de production durables et la protection de l'environnement, sous l'impulsion de l'Europe. En France, l'État conçoit des outils innovants qui visent à la fois le maintien des milieux et la réduction des gaz à effet de serre, comme

■ Facteurs favorables

- Politiques publiques ambitieuses intégrant l'environnement
- État et Europe forts

■ Acteurs moteurs

- État et Union européenne
- Agriculteurs
- ONG environnementales

le stockage du carbone dans les sols ou via les forêts. Les services environnementaux rendus par l'agriculture et la forêt sont rémunérés par un dispositif adossé à un système de comptabilité des « éléments de valeur environnementale » (EVE) reconnu et validé à l'échelle européenne. L'agriculture est insérée dans un marché des droits à polluer par lequel des agences publiques achètent des crédits de biens publics environnementaux délivrés aux agriculteurs. Les dispositifs inspirés des trames verte et bleue sont pris en charge au niveau de la PAC et sont obligatoirement insérés dans les documents d'urbanisme. Ces efforts nationaux sont soutenus sur le plan international par de nouvelles instances de gouvernance environnementale. L'évaluation environnementale s'impose en amont de toute prise de décision publique. Des mesures visant la participation des citoyens sont développées : affichage environnemental, éducation à l'environnement dans les écoles. L'État garantit par ailleurs la cohésion entre les territoires.

COMPOSANTE « GÉOPOLITIQUE ET MARCHÉS MONDIAUX »

Micro-scénario « Marché libre »

■ Esprit du micro-scénario

- Logique économique, libéralisation, régulation par le marché
- Modèles de croissance basés sur les énergies fossiles, au détriment de la lutte contre le changement climatique
- Forte compétitivité des grands pays émergents dans les secteurs où ils ont des avantages comparatifs, multiplication des échanges commerciaux Sud-Sud

■ Résumé

Le point de départ est la poursuite de la libéralisation économique, dominée par les grandes firmes internationales et encadrée par l'OMC. Depuis la crise économique et financière de 2008-2009, le centre de gravité du monde a basculé vers l'Est. Les BRICS s'affirment comme locomotives de l'économie mondiale, leurs taux de croissance se maintiennent à des niveaux élevés (6-10% par an) et leur modèle de développement devenant de plus en plus endogène (croissance de la consommation intérieure). L'Europe, en revanche, est marginalisée depuis l'éclatement de la zone euro. Les États membres mettent des décennies à réparer leurs finances publiques et le niveau de vie des Européens diminue. L'Union européenne est marginalisée dans l'économie mondiale. La demande mondiale en produits agricoles, de même que celle d'énergies fossiles et de bois, augmente avec la croissance démographique et le développement des pays du Sud. En conséquence, les prix des produits agricoles et forestiers augmentent, et deviennent aussi plus volatils. Dans le même temps, l'accroissement de la demande alimentaire pousse à la mise en culture des terres et pèse donc sur l'espace forestier.

■ Facteurs favorables

- Montée en puissance BRICS
- Réformes structurelles pour sortir de la crise

■ Acteurs moteurs

- Duo Chine/États-Unis et OMC
- Firmes multinationales
- Grands pays émergents

De 2012 à 2030, les crises alimentaires, comme celle de 2008, surviennent périodiquement. Pour y faire face, les échanges, notamment Sud-Sud, se développent fortement, les pays exportateurs (Brésil, Russie, Ukraine) augmentant fortement leur production pour répondre aux besoins croissants des pays importateurs nets (Moyen-Orient, Afrique du Nord, Corée du Sud, etc.). Entre 2030 et 2050, les importants investissements privés réalisés en Afrique ou en Amérique du Sud, où le potentiel de terres disponibles était encore important, commencent à porter vraiment leurs fruits et les prix se détendent. Les négociations internationales sur le climat progressent difficilement, aucun pays ne voulant entraver sa croissance par des contraintes sur la production. Les quelques accords partiels signés sont souvent transgressés par les pays qui disposent de ressources fossiles importantes, et ce d'autant plus que des progrès techniques permettent de mieux mobiliser ces ressources. Le changement climatique se poursuit graduellement mais fortement, sans catastrophes majeures toutefois. Des stratégies d'adaptation ne bousculant pas trop les modes de production existants sont mises en place.

Micro-scénario « Le moindre mal »

■ Esprit du micro-scénario

- Logique gestionnaire, intervention publique a minima pour corriger les dérives les plus flagrantes
- Croissance économique modérée et endogène, modèle de développement conventionnel, prix du baril modéré
- Gouvernance multilatérale faible centrée sur le libre-échange et la prévention des conflits majeurs

■ Résumé

La logique économique domine les échanges internationaux et se double d'une intervention publique a minima pour limiter des effets pervers prévisibles. Le niveau de la croissance mondiale est modéré. Les BRICS poursuivent leur croissance de manière endogène. La Chine poursuit son développement, mais le partenariat avec les États-Unis auquel on s'attendait ne se réalise pas. La demande en produits pétroliers reprend à un rythme stable pour atteindre un plafond aux environs de 100 millions de barils par jour, et le prix du baril se stabilise. Les pays consolident leurs organisations régionales et les échanges se fragmentent géographiquement. Pour prémunir le système économique de la multiplication de mesures distorsives appliquées aux échelons régionaux, une gouvernance multilatérale se développe toutefois. Faute de politique de régulation, l'instabilité des prix agricoles est

■ Facteurs favorables

- Plus petit dénominateur commun en l'absence de consensus et d'ambition multilatérales
- Pas de crise majeure (énergétique, climatique, alimentaire ou géopolitique)

■ Acteurs moteurs

- Rapport de force équilibré entre grands ensembles régionaux (États-Unis/Chine/Europe notamment)
- ONU et G20

toujours de mise et fait perdurer de graves crises alimentaires. L'ONU et les pays de l'actuel G20 n'interviennent qu'en cas d'occurrence ou de menace de crises majeures dans des régions géopolitiques clefs (Moyen-Orient, Afrique). L'Europe reste stable, mais peine à trouver les moyens de politiques communes ambitieuses. Son influence internationale est limitée. Le niveau des efforts consentis pour l'atténuation des émissions de GES reste modéré. L'objectif est une réduction des émissions de 20% à l'horizon 2030 pour les pays développés et les discussions restent difficiles concernant l'implication des pays émergents. Les effets du changement climatique sont par ailleurs graduels et ne provoquent pas de crise grave, si bien que le modèle de développement et d'utilisation des ressources naturelles en vigueur n'est pas fondamentalement remis en cause.

Micro-scénario « Repli régional »

■ Esprit du micro-scénario

- Recul de la gouvernance multilatérale, repli à l'échelle des grandes régions du monde, multiplication des organisations économiques et des politiques régionales
- Recherche d'une croissance économique plus endogène, relocalisation partielle des circuits économiques, gestion défaillante des biens publics globaux

■ Résumé

À cause de l'incapacité des États (Europe, mais aussi États-Unis et Japon) à faire face à leur dette publique, la crise économique et financière se prolonge et les décennies 2010-2030 sont marquées par une croissance atone et des épisodes de récession. Au lieu de susciter un sursaut général, cela se traduit par un repli sur les « blocs régionaux » (alliances économiques et commerciales existantes ou en extension comme l'Association des nations de l'Asie du Sud-Est - ASEAN). Les échanges commerciaux internationaux diminuent. La priorité donnée au traitement social des difficultés économiques amène à un repli sur soi des États et à des politiques économiques non coopératives. On assiste à une relocalisation partielle des circuits économiques, encouragée par des politiques protectionnistes. La demande mondiale en produits pétroliers est plutôt faible car la croissance mondiale manque de dynamisme, le prix du pétrole est bas, ce qui limite les recherches d'énergies alternatives. Par ailleurs, les effets du changement climatique

■ Facteurs moteurs

- Crise économique larvée et persistante
- Échec des négociations multilatérales de type Kyoto et Doha
- Montée du protectionnisme et logique du chacun pour soi

■ Acteurs moteurs

- États et organisations régionales
- ONG, fondations, philanthropes divers

sont forts et les différentes régions du globe font face à des conséquences négatives du réchauffement. Ces nouvelles conditions climatiques perturbent notamment les systèmes de production agricoles et, en l'absence d'accord international et de régulation, les prix agricoles connaissent encore une très forte volatilité, ce qui entretient et amplifie les crises alimentaires. Les accidents météorologiques provoquent des chablis et incendies et une partie des forêts se transforment en friches, le bois tend à devenir un produit de cueillette. À défaut d'une gouvernance efficace au niveau mondial, des mesures sont peu à peu prises à l'échelle des organisations régionales (à l'instar du système des quotas au sein de l'Union européenne) entre 2030 et 2050, mais il n'y a pas de réponse commune et uniforme face aux défis environnementaux. La gestion des biens publics globaux est particulièrement défaillante. Les ONG et fondations privées (Fondation Gates) prennent en charge les mesures d'adaptation, qui sont davantage réactives que préventives.

Micro-scénario « Développement durable et coopération »

■ Esprit du micro-scénario

- Transition vers un nouveau modèle de développement, prospérité fondée sur de nouveaux critères, mobilisation sociale et économique autour d'un vaste mouvement de verdissement
- Politiques publiques ambitieuses au Nord comme au Sud en matière d'environnement, d'énergie, d'alimentation
- Europe puissance et gouvernance mondiale forte
- Innovations technologiques et sociales soutenues

■ Résumé

La crise de 2008-2009 a ébranlé la foi dans la seule régulation par le marché et favorisé un plus grand interventionnisme étatique. En Europe, la recherche d'une nouvelle prospérité passe par un cadre financier rénové et des politiques ambitieuses : la stratégie de Lisbonne est rénovée et relancée, les efforts en recherche et développement sont soutenus, notamment dans les technologies vertes. Les pays émergents reprennent leurs rythmes de croissance d'avant 2008, tandis que les pays développés mettent en place des stratégies commerciales pour profiter de cette croissance. Les technologies propres se développent dans le cadre des échanges Nord-Sud. Un trinôme États-Unis/Chine/Europe pousse à l'adoption d'une meilleure régulation des échanges commerciaux dans laquelle les préoccupations environnementales trouvent une légitimité. Une gouvernance alimentaire se met en place à l'échelle régionale, et ainsi régulé, le système permet de garantir des prix agricoles plus stables et reflétant les coûts de production. En matière de lutte contre le changement climatique, la réduction

■ Facteurs moteurs

- Sortie de crise rapide et marges de manœuvre politiques et économiques dues à une prospérité durable
- Montée en puissance rapide des demandes sociales et environnementales dans les pays en développement

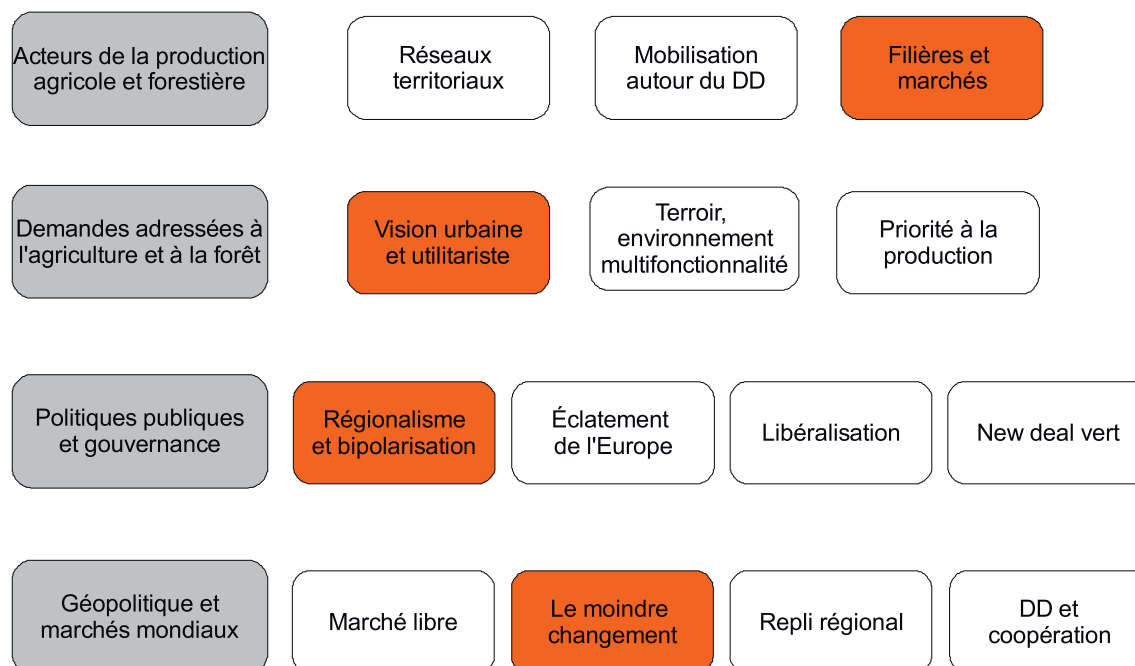
■ Acteurs moteurs

- Trio États-Unis/Chine/Europe, G20
- Sociétés civiles
- Institutions internationales

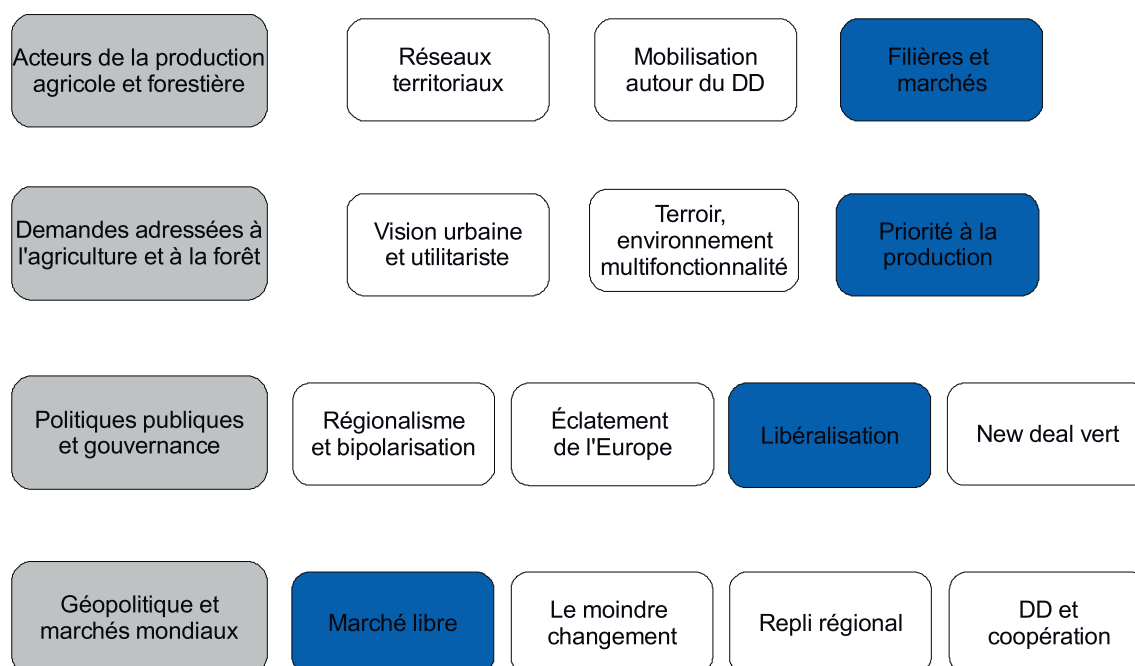
des émissions apparaît comme une urgence face aux premiers effets d'un réchauffement plus fort que prévu. Un effort partagé permet d'élever les niveaux de réduction de GES auxquels les États, y compris les pays en développement, s'engagent. Une taxe sur les émissions de GES est instaurée en 2015, d'abord aux frontières de l'Union européenne puis étendue progressivement à d'autres pays en 2020. Des objectifs visant à réduire le défrichement des forêts tropicales et à stopper la diminution de la couverture forestière de la planète sont inclus dans les traités climatiques, avec des résultats tangibles dès 2035. À partir des années 2040, les bio-énergies (notamment les biocarburants de la deuxième génération) se généralisent et les progrès en matière d'économies d'énergie dans le transport et le bâtiment se traduisent par une baisse de la consommation d'énergies fossiles. Le prix du baril de pétrole diminue. En 2050, l'objectif de la feuille de route européenne (réduction de 80% des émissions de gaz carbonique par rapport à 1990) est presque atteint.

COMBINAISON DES MICRO-SCÉNARIOS POUR LA CONSTRUCTION DES QUATRE SCÉNARIOS DE CONTEXTE

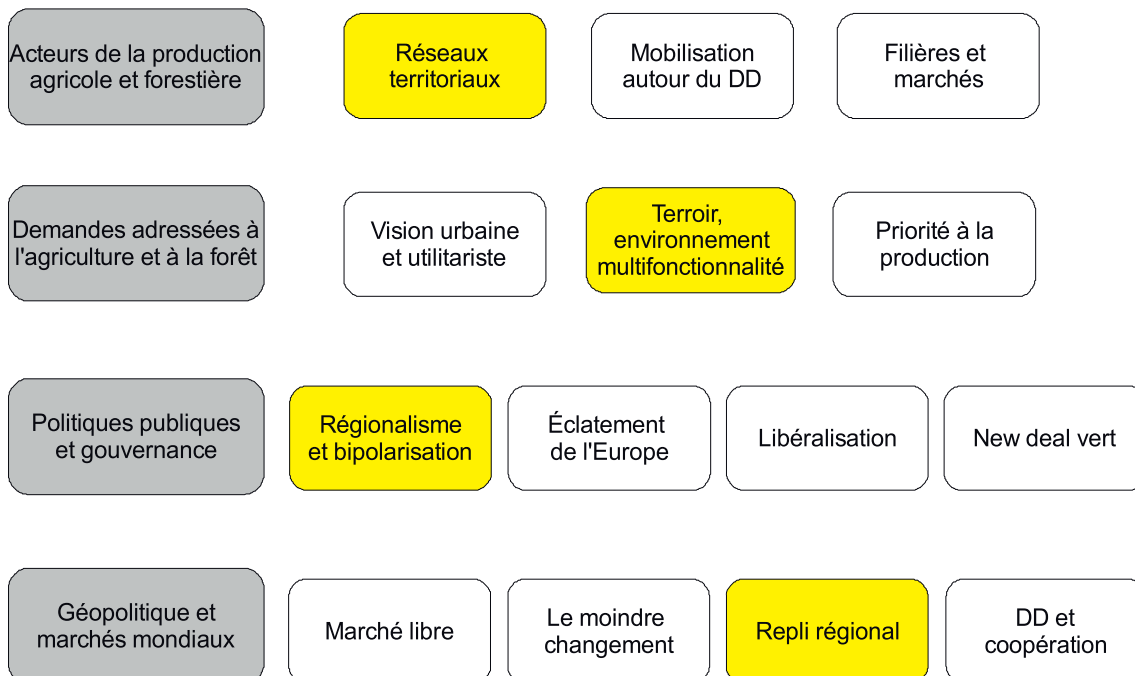
Scénario 1 : Métropolisation et consumérisme



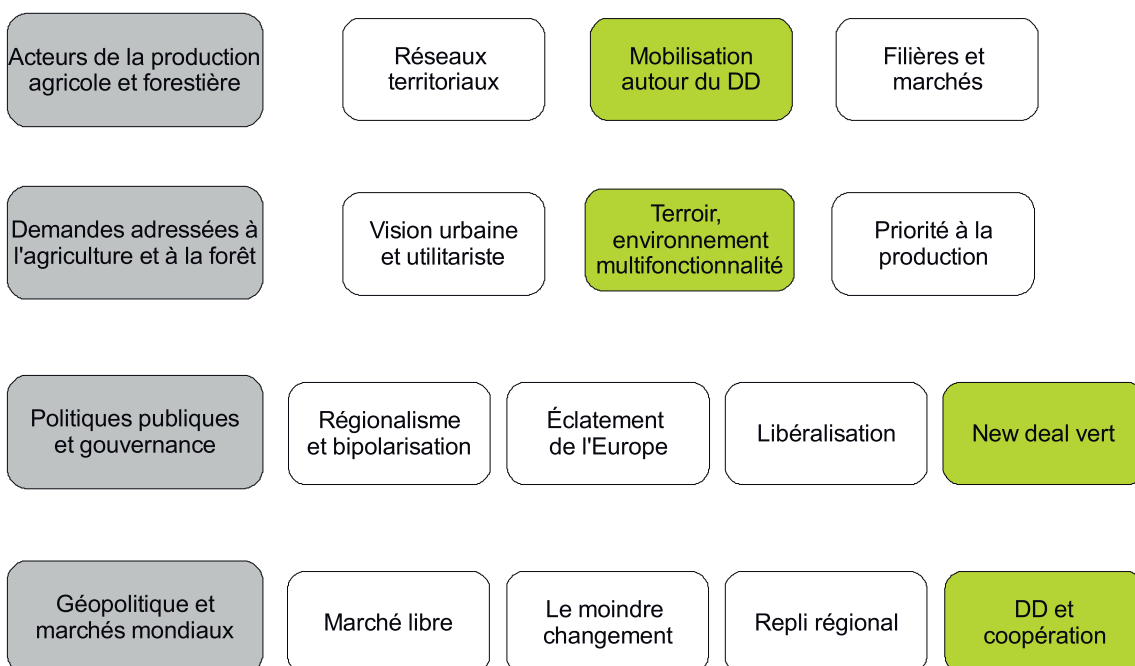
Scénario 2 : Libéralisation et priorité à la production



Scénario 3 : Mosaïque de territoires et d'acteurs



Scénario 4 : Transition énergétique et environnementale



ANNEXE 3. LISTE DES SIGLES

ACTA	Association de coordination technique agricole
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AEP	Alimentation en eau potable
AFI	Association forêt irrégulière
AFP	Association foncière pastorale
AMAP	Association pour le maintien d'une agriculture paysanne
ANR	Agence nationale de la recherche
AOC	Appellation d'origine contrôlée
APCA	Assemblée permanente des chambres d'agriculture
APIB	Association pôle interprofessionnel bois Limousin
ASA	Association syndicale autorisée
BFR	Besoins en fonds de roulement
BRICS	Brésil, Russie, Inde, Chine et Afrique du Sud
C org	Carbone organique
CAFSA	Coopérative agricole et forestière Sud-Atlantique
CCNUCC	Convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique
CEC	Capacité d'échange cationique
CEFSO	Comité des experts forestiers du Sud-Ouest
CERFACS	Centre européen de recherche et de formation avancée en calcul scientifique
CGAAER	Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux
CIRAD	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
CNPF	Centre national de la propriété forestière
CNRM	Centre national de recherches météorologiques
COFOGAR	Coopérative forestière forêt du Sud
COFOR	Communes forestières
COP	Céréales et oléo-protéagineux
CRPF	Centre régional de la propriété forestière
CUMA	Coopératives d'utilisation du matériel agricole
DATAR	Délégation interministérielle à l'aménagement du territoire et à l'attractivité régionale
DCE	Directive-cadre sur l'eau
DFCI	Défense de la forêt contre les incendies
DGAL	Direction générale de l'alimentation
DPU	Droits à paiement unique

DRAAF	Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt
DREAL	Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement
EAB	Enquête annuelle de branche du ministère chargé de l'Agriculture
EBE	Excédent brut d'exploitation
EDF	Électricité de France
ENGREF	École nationale du génie rural, des eaux et des forêts
ESR	Efficience, substitution, reconception
ETO	Évapotranspiration potentielle
ETM	Évapotranspiration maximale
ETR	Évapotranspiration réelle
FCBA	Institut technologique forêt cellulose bois-construction ameublement
FDGEDA	Fédération départementale des groupes d'étude et de développement agricole
FIBA	Syndicat interprofessionnel des exploitants forestiers et industriels du bois d'Aquitaine
FL	Futur lointain
FP	Futur proche
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GIS	Groupement d'intérêt scientifique
HVE	(Certification) haute valeur environnementale
IA	Insémination artificielle
ICHN	Indemnité compensatoire au handicap naturel
IDF	Institut du développement forestier
IFM	Indice forêt météo
IFN	Inventaire forestier national
IFT	Indice de fréquence de traitements phytosanitaires
IGP	Indication géographique protégée
INRA	Institut national de la recherche agronomique
IPSL	Institut Pierre-Simon-Laplace
IRSTEA	Institut de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture
MAAF	Ministère de l'Agriculture, de l'Agro-alimentaire et de la Forêt
MAE	Mesure agro-environnementale
MNHN	Muséum national d'histoire naturelle
MO	Matière organique
MS	Matière sèche
MSA	Mutualité sociale agricole
OMC	Organisation mondiale du commerce
ONF	Office national des forêts
P	Précipitations

PAC	Politique agricole commune
PACA	Provence-Alpes-Côte d'Azur
PHAE	Prime herbagère agro-environnementale
PIB	Produit intérieur brut
PMTVA	Prime au maintien du troupeau de vaches allaitantes
PR	Passé récent
PRA	Petite région agricole
RGA	<i>Ray-grass</i> anglais
RICA	Réseau d'information comptable agricole
RMT	Réseau mixte technologique
RSSE	Rapport spécial sur les scénarios d'émissions (SRES en anglais)
RU	Réserve utile
SAU	Surface agricole utile
SCEQE	Système commun d'échange de quotas d'émissions
SDAGE	Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux
SFCDC	Société forestière de la Caisse des dépôts et consignations
SFP	Surface fourragère principale
SRGS	Schéma régional de gestion sylvicole
SWI	<i>Soil water index</i> (indice de teneur en eau du sol)
SYSSO	Syndicat des sylviculteurs du Sud-Ouest
TCS	Techniques culturales simplifiées
TIR	Taux interne de rentabilité
UFL	Unité fourragère lait
UGB	Unité de gros bétail
UTCF	Utilisation des terres, leurs changements et la forêt
UTH	Unité de travail humain
VL	Vache laitière
ZES	Zone d'excédent structurel (directive « Nitrates »)
ZICO	Zone d'intérêt communautaire pour les oiseaux
ZNIEFF	Zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique

ANNEXE 4.

BIBLIOGRAPHIE

- ACTA-MIRES, (2009), Recueil de communications du colloque « Changement climatique : conséquences et enseignements pour les grandes cultures et l'élevage herbivore », Arvalis, Institut de l'élevage, INRA, Météo France, Paris, 22 octobre, Programme ACTA-MIRES « Changements climatiques ».
- Aussenac G., (1973), « Étude des gelées tardives en relation avec les problèmes de reboisement », *Annales des sciences forestières*, 30(2), 141-155.
- Aussenac G., (1980), « Comportement hydrique de rameaux excisés de quelques espèces de sapins et de pins noirs en phase de dessiccation », *Annales des sciences forestières*, 37, 201-215.
- Aussenac G., (1987), « Effets de l'éclaircie sur l'écophysio­logie des peuplements forestiers », *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* (Journal Forestier Suisse), 138, 685-700.
- Badeau V., (1995), « Étude dendroécologique du hêtre (*Fagus sylvatica* L.) sur les plateaux calcaires de Lorraine, influence de la gestion sylvicole », thèse de doctorat, université de Nancy I Henri Poincaré, 222 p.
- Becker M., (1970), « Transpiration et comportement vis-à-vis de la sécheresse de jeunes plants forestiers (*Abies alba* Mill., *Picea abies* (L.) Karsten, *Pinus nigra* Arn. Ssp. *Laricio* Poir., *Pinus strobus* L.) », *Annales des sciences forestières*, 27(4), 401-420.
- Becker M., (1977), « Contribution à l'étude de la transpiration et de l'adaptation à la sécheresse des jeunes plants résineux. Exemple de trois sapins du pourtour méditerranéen (*Abies alba*, *A. Nordmanniana*, *A. Numidica*) », *Annales des Sciences Forestières*, 34, 137-158.
- Bennie J., Kubin E., Wiltshire A., Huntley B., Baxter R., (2010), « Predicting spatial and temporal patterns of bud-burst and spring frost risk in north-west Europe: the implications of local adaptation to climate », *Global Change Biology*, 16(5), 1503-1514.
- Bert D., Leavitt S.W., Dupouey J.L., (1997), « Variations of wood delta C-13 and water-use efficiency of *Abies alba* during the last century », *Ecology*, 78(5), 1588-1596.
- Bourgau J.-M., (coord.), (2008), *La forêt française en 2050-2100. Essai de prospective*, Conseil général de l'agriculture, de l'alimentation et des espaces ruraux (CGAAER) du ministère en charge de l'Agriculture, 108 p.
- Bourget B. (coord.), (2010), *Prospective PAC 2020*, Conseil général de l'agriculture, de l'alimentation et des espaces ruraux (CGAAER) du ministère en charge de l'Agriculture, 61 p.
- Bréda N., Bosc A., Badeau V., dans Brisson N., Levraut F. (éd.), (2010), « Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le Livre vert du projet Climator (2007-2010) », ADEME 225-336.
- Bréda N., Dupouey J.-L., Peiffer M., (1998), *Étude taxonomique des chênes de la forêt domaniale de la Harth (Haut-Rhin). Dépérissement forestier en vallée du Rhin*, rapport final convention ONF-INRA, 50 p.
- Bréda N., Granier A., Aussenac G., (2000), « Évolutions possibles des contraintes climatiques et conséquences pour la croissance des arbres », *Revue forestière française*, 52(spécial), 73-90.
- Brethes A., (2004), *Typologie des stations forestières de Champagne berrichonne et du Boischaud sud*, ONF, Paris, 587 p.
- Brisson N., Gate P., Gouache D., Char­met G., Oury F.-X., Huard F., (2010), « Why are wheat yields stagnating in Europe ? A comprehensive data analysis for France », *Field Crops Research*, 119, 201-212.
- Brisson N., Levraut F. (éd.), (2010), « Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le Livre vert du projet Climator (2007-2010) », *op. cit.*

- Bruciamacchie M., (2001), « La futaie irrégulière de Douglas : pourquoi pas ? », *La Forêt privée*, 95, 29-37.
- CESER Aquitaine, (2011), *L'eau en Aquitaine à l'horizon de 30 ans. Six scénarios pour 2041*, Conseil économique, social et environnemental régional d'Aquitaine.
- Chatry C., Le Gallou J.-Y., Le Quentrec M., Lafitte J.-J., Laurens D., Creuchet B., Grelu J., (2010), *Changement climatique et extension des zones sensibles aux feux de forêts*, ministère en charge de l'Agriculture, Ministère de l'Intérieur et ministère en charge du Développement durable, rapport final de la Mission interministérielle, 89 p.
- Coulon J.-B., Meynard J.-M., (2011), « Vers une agriculture à hautes performances environnementales : état des lieux des voies d'amélioration technique proposées par l'INRA », *Innovations agronomiques*, 12, 1-15.
- DATAR, (2012), *Prospective territoires 2040*, voir le site <http://territoires2040.datar.gouv.fr/>
- Dauphiné A., Provitolo D., (2007), « La résilience : un concept pour la gestion des risques », *Annales de géographie*, 2, (654), 115-125.
- Desprez-Loustau M.-L., Marçais B., Nageleisen L.-M., Piou D., Vannini A., (2006), « Interactive effects of drought and pathogens in forest trees », *Annals of Forest Science*, 63, 597-612.
- Desprez-Loustau M.-L., Dupuis F., (1994), « Variation in the phenology of shoot elongation between geographic provenances of maritime pine (*Pinus pinaster*) - Implications for the synchrony with the phenology of the twisting rust *Melampsora pinitorqua* », *Annals of Forest Science*, 51(6), 553-568.
- Dhôte J.-F., Dupouey J.-L., Bergès L., (2000), « Modifications à long terme, déjà constatées, de la productivité des forêts françaises », *Revue forestière française*, LII, (spécial 2000), 37-48.
- Dulaurent A.-M., Porté A.J., van Halder I., Vétillard F., Menassieu P., Jactel H., (2012), « Hide and seek in forests : colonization by the pine processionary moth is impeded by the presence of nonhost trees », *Agricultural and Forest Entomology*, 14(1), 19-27 p.
- Escriou H., Maupas F., Richard-Molard M., (2010), « Évolution des rendements de la betterave sucrière : un effet favorable du changement climatique », comptes-rendus de séance de l'Académie d'agriculture de France du 5 mai 2010, 96(3).
- Etchevers P., Martin E., (2002), « Impact d'un changement climatique sur le manteau neigeux et l'hydrologie des bassins versants de montagne », colloque international « L'eau en montagne », Megève, septembre 2002, 8p.
- Felten B., Martin G., Theau J.-P., Thenard V., Magne M.-A., Duru M., (2010), « Conception de systèmes d'élevage adaptés au changement climatique », Projet Climfourel, Midi-Pyrénées, série Les Focus PSDR3, 12 p.
- Garnier A., Badeau V., Bréda N., (1995) « Modélisation du bilan hydrique des peuplements forestiers », *Revue forestière française*, 47, 59-68.
- GIEC, (2007), *Bilan 2007 des changements climatiques*, contribution des groupes de travail I, II et III au quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), Genève, Suisse.
- GIEC, (2012), *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni.
- Gleizer B., Legave J.-M., Berthoumieu J.-F., Mathieu V., (2007), « Les arboriculteurs face aux changements climatiques. Évolution de la phénologie florale et du risque de gel printanier », *Infos Ctiff*, 235, octobre, 37-40.
- Godot C., (2013). « Pour une gestion durable de l'eau en France. Volet 3 : les risques stratégiques de la gestion quantitative de l'eau en France et les perspectives d'adaptation à l'horizon 2030 ». *Note d'analyse n° 328* du Centre d'Analyse Stratégique, avril 2013, 12 p.
- Greenpeace, (2009), *Changements climatiques et impacts sur la viticulture en France*, 16 p.
- Guédon Y., Legave J.-M., (2008), « Analyzing the time-course variation of apple and pear tree dates of flowering stages in the global warming context », *Ecological modelling*, 219(1-2), 189-199.

- Guehl J.-M., (1985), « Étude comparée des potentialités hivernales d'assimilation carbonée de trois conifères de la zone tempérée (*Pseudotsuga menziesii* Mirb., *Abies alba* Mill. et *Picea excelsa* Link.) », *Annales des sciences forestières*, 42(1), 23-38.
- Guehl J.-M., Picon C., Vivin P., Cochard H., Aussenac G., (1999), « Forêts et augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂ : effets bénéfiques ou adverses ? », *Revue forestière française*, 51(2), 254-265.
- Hill S.B., MacRae R.J., (1995), « Conceptual frameworks for the transition from conventional to sustainable agriculture », *Journal of Sustainable Agriculture*, 7, 81-87.
- Hirschi M., Stoeckli S., Dubrovsky M., Spirig C., Calanca P., Rotach M.W., Fischer A.M., Duffy B., Samietz J., (2012), « Downscaling climate change scenarios for apple pest and disease modeling in Switzerland », *Earth System Dynamics*, 3, 33-47.
- Holling C.S., (1973), « Resilience and stability of ecological systems », *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1-23.
- IFN, INRA, (2010), *Étude rétrospective et mise à jour de la ressource en pin maritime du massif des Landes de Gascogne après la tempête Klaus du 24 janvier 2009*, 39 p.
- Jarret P., (2004), *Guides des sylvicultures - chênaie atlantique*, ONF, 335 p.
- Landmann G., Dupouey J.-L., Badeau V., Lefevre Y., Bréda N., Chuine I., Lebourgeois F., (2007), « Le hêtre face aux changements climatiques », *Rendez-vous techniques de l'ONF*, hors-série n° 2, 29-38.
- Lebourgeois F., (2006), « Sensibilité au climat des chênes sessile et pédonculé dans le réseau RENECOFOR, comparaison avec les hêtraies », *Revue forestière française*, 53(1), 29.
- Lebourgeois F., Breda N., Ulrich E., Granier A., (2005), « Climate-tree-growth relationships of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in the French Permanent Plot Network RENECOFOR », *Trees*, 19, 385-401.
- Lebourgeois F., Pierrat J.-C., Perz V., Cecchini S., Ulrich E., (2011), « Rallongement de la saison de végétation des hêtraie et des chênaies française dans les prochaines décennies. Conséquences possibles sur les écosystèmes forestiers », *Rendez-vous techniques de l'ONF*, 33-34, 39-46.
- Legave J.-M., (2009), « Comment faire face aux changements climatiques en arboriculture fruitière ? », *Innovations Agronomiques*, 7, 165-177.
- Legave J.-M., Blanke M., Christen D., Giovanni D., Mathieu V., Oger R., (2012), « A comprehensive overview of the spatial and temporal variability of apple bud dormancy release and blooming phenology in Western Europe », *International Journal of Biometeorology*, 57(2), 317-331.
- Lesbourges Y., Chantre G. (coord.), (2009), *Expertise sur l'avenir du massif landais*, rapport de synthèse du groupe de travail « Itinéraires sylvicoles », GIP ECOFOR, 18 p.
- Lieutier F., Vincent B., Koutroumpa F., (2009), « Le nématode du pin et sa dissémination : le point des connaissances », colloque du DSF « 20 ans d'expérience, un défi pour l'avenir », Palais des Congrès de Beaune, 10-11 mars 2009.
- Linares J.C., Camarero J.J., (2012), « From Pattern to Process : Linking Intrinsic Water-use Efficiency to Drought-induced Forest Decline », *Global Change Biology*, 18(3), 1000-1015.
- Loustau D. (coord.), (2010), *Forests, carbon cycle and climate change*, projet CARBOFOR, éd. QUAE, Versailles, coll. « Update Sciences and Technologies », 348 p.
- Loustau D., Bosc A., Colin A., Ogée J., Davi H., Francois C., Dufrêne E., Déqué M., Cloppet E., Arrouays D., Le Bas C., Saby N., Pignard G., Hamza N., Granier A., Bréda N., Ciais P., Viovy N., Delage F., (2005), « Modeling climate change effects on the potential production of French plains forests at the sub-regional level », *Tree Physiology*, 25, 813-823.
- Marçais B., Bouhot-Delduc L., Le Tacon F., (2000), « Effets possibles des changements globaux sur les micro-organismes symbiotiques et pathogènes et les insectes ravageurs des forêts », *Revue forestière française*, 52, 99-118.
- Mathieu J.-P., (1991), *Dictionnaire de physique*, Paris, Masson, 567 p.

- Meynard J.-M., Messéan A., Charlier A., Charrier F., Farès M., Le Bail M., Magrini M.-B., Savini I., (2013), *Freins et leviers à la diversification des cultures. Étude au niveau des exploitations agricoles et des filières*, synthèse du rapport d'étude, INRA, 52 p.
- Mora O., Banos V., Carnus J.-M., Regolini M. (éd.), (2012), *Le massif des Landes de Gascogne à l'horizon 2050*, rapport de l'étude prospective, Conseil régional d'Aquitaine – INRA, 290 p.
- Nageleisen L.-M., (2002), « Les principaux problèmes phytosanitaires du hêtre », dans Armand G. (coord.), *Le hêtre autrement*, Paris, IDF, 216-229.
- Nageleisen L.-M., Piou D., Saintonge F.-X., Riou-Nivert P., (2010), *La santé des forêts : maladies, insectes, accidents climatiques, diagnostic et prévention*, DSF-IDF, 608 p.
- Nakicenovic N., Swart R. (dir.), 2000. *Rapport spécial sur les scénarios d'émissions du groupe de travail III du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)*, Genève, Suisse.
- Navarrete M., Bellon S., Geniaux G., Lamine C., Penvern S., Sautereau N., Tchamitchian M., (2012), « L'écologisation des pratiques en arboriculture et maraîchage. Enjeux et perspectives de recherche », *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 62, 57-70.
- Noetzi K.P., Müller B., Sieber T.N., (2003), « Impact of population dynamics of white mistletoe on European silver fir », *Annals of Forest Science*, 60, 773-779.
- Oliva J., Colinas C., (2007), « Decline of silver fir (*Abies alba Mill.*) stands in the Spanish Pyrenees : Role of management, historic dynamics and pathogens », *Forest Ecology and Management*, 252, 84-97.
- Olszyk D.M., Johnson M.G., Tingey D.T., Rygielwicz P.T., Wise C., VanEss E., Benson A., Storm M.J., King R., (2003), « Whole-seedling biomass allocation, leaf area, and tissue chemistry for Douglas-fir exposed to elevated CO₂ and temperature for 4 years », *Canadian Journal of Forest Research*, 33, 269-278.
- Olszyk D.M., Wise C., VanEss E., Tingey D., (1998), « Elevated temperature but not elevated CO₂ affects stem diameter and height of Douglas-fir seedlings : results over three growing seasons », *Canadian Journal of Forest Research*, 28, 1046-1054.
- ONERC, Agenis-Nevers M., (2006), « Impacts du changement climatique sur les activités viti-vinicoles », Note technique 3.
- Paillard S., Treyer S., Dorin B., (2010), *Agrimonde. Scénarios et défis pour nourrir le monde en 2050*, éd. Quae, Versailles 295 p.
- Perrin R., (1997), « Le dépérissement du hêtre ». *Revue forestière française*, 29(2), 101-126.
- Peyron J.-L., Landmann G., Massu N., Perrier C., (2011), « Changement climatique et forêt : tenir compte du passé pour envisager l'avenir? », GIP ECOFOR (sous presse).
- Piou D., Jactel H., (2010), *Expertise sur l'avenir du massif Landais*, rapport sur l'évaluation des risques biotiques, GIP ECOFOR. 19 p.
- Piou D., Nageleisen L.-M., Desprez-Loustau M.-L., Candau J.-N., (2006), « Les risques sanitaires consécutifs à la canicule de 2003 à la lumière de la littérature », *Rendez-vous techniques de l'ONF*, 11, 28-34.
- Poux X. (coord.), (2006), *Agriculture, environnement et territoires. Quatre scénarios à l'horizon 2025*, Paris, La Documentation française, 222 p.
- Préfecture du Languedoc-Roussillon, (2008), *Étude sur le changement climatique en Languedoc-Roussillon : quelles conséquences économiques et sociales ?*, rapport final.
- Richard-Molard M., (2007), « Changement climatique. Quelles conséquences pour la betterave? », *Le journal du cercle des planteurs*, 16, 7-8.
- Riggi J.-M., (2001), *Guide simplifié des stations forestières et du choix des essences sur le plateau de Millevaches*, CRPF du Limousin, 63 p.
- Rubio M., Marquette E., (2007), « Panorama du marché du hêtre en 2006 », *Rendez-vous techniques de l'ONF*, hors-série n° 2, 11-15.

- Ruget F., Clastre P., Moreau J.-C., Cloppet E., Souverain F., Lacroix B., Lorgeou J., (2012), « Conséquences possibles des changements climatiques sur la production fourragère en France. I. Estimation par modélisation et analyse critique », *Fourrages*, 210, 87-98.
- Ruget F., Lorgeou J., Moreau J.-C., Clastre P., Cloppet E., Souverain F., Lacroix B., (2012), « Conséquences possibles des changements climatiques sur la production fourragère en France. II. Exemples de quelques systèmes d'élevage », *Fourrages*, 211, 243-251.
- Sala A., Carey E.V., Callaway R.M., (2001), « Dwarf mistletoe affects wholetrees water relations of Douglas fir and western larch primarily through changes in leaf to sapwood ratios », *Oecologia*, 126, 42- 52.
- Seguin B., (2007), « Les changements climatiques et les impacts observés sur les écosystèmes terrestres », *Rendez-vous techniques de l'ONF*, hors-série n° 3, 1-8.
- Seres C., (2010), « L'agriculture de montagne face au changement climatique : exposition différenciée des territoires et marges de manœuvre des exploitations laitières », *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, 59, 10 p.
- Sergent A.S., Rozenberg P., Bréda N., (2012), « Douglas fir is vulnerable to exceptional and recurrent drought episodes and recovers less well on less fertile sites », *Annals of Forest Science (in press)*.
- Soubeyroux J.-M., Vidal J.-P., Najac J., Kitova N., Blanchard M., Dandin P., Martin E., Pagé C., Habets F., (2011), *Impact du changement climatique en France sur la sécheresse et l'eau du sol*, rapport final du projet Climsec.
- Stoeckli S., Hirschi M., Spirig C., Calanca P., Rotach M.W., (2012), « Impact of Climate Change on Voltinism and Prospective Diapause Induction of a Global Pest Insect, *Cydia pomonella* », *PLoS ONE*, 7(4).
- Stone J.K., Coop L.B., Manter D.K., (2010), « A Spatial Model for Predicting Effects of Climate Change on Swiss Needle Cast Disease Severity in Pacific Northwest Forests », dans Pye J.M., Rauscher H.M., Sands Y., Lee D.C.B., Jerome S., tech. eds, *Advances in threat assessment and their application to forest and rangeland management*. Gen. Tech. Rep. Portland, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest and Southern Research Stations, 145-156.
- Vernier F., Castro A., (2010), *Expertise sur l'avenir du massif Landais*, rapport d'expertise « Critère préservation de l'environnement sous-critère eau », GIP ECOFOR, 39 p.
- Vert J., Portet F., (coord.), (2010), *Prospective Agriculture Énergie 2030. L'agriculture face aux défis énergétiques*, Centre d'études et de prospective, SSP, ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du territoire, 166 p.

Crédits photographiques :

Couverture

Vaches prim'holstein sous une stabulation en bois

Crédits : ©Pascal Xicluna/Min.Agri.Fr

Chemin forestier de la chêneraie-hêtraie de la forêt domaniale de Saint-Hilaire - Saint-Florent (49)

Crédits : ©Pascal Xicluna/Min.Agri.Fr

Représentation d'un modèle numérique de climat

Crédits : ©Laurent Fairhead (LMD/CNRS) <http://www.ccstib.fr/Climats-du-passe-6.213.html>

Bruno Quantin, cultivateur de céréales et d'oléagineux à Lézinnes (89), animateur du réseau de fermes DEPHY, dans un champ d'orge d'hiver.

Crédits : ©Pascal Xicluna/Min.Agri.Fr

Rangs de vigne. Cépage chenin blanc.

Crédits : ©Pascal Xicluna/Min.Agri.Fr



Achevé d'imprimer par Corlet, Imprimeur, S.A. - 14110 Condé-sur-Noireau
N° d'Imprimeur : 157869 - Dépôt légal : septembre 2013 - *Imprimé en France*

Ouvrage non vendu

L'agriculture et la forêt sont deux secteurs particulièrement exposés au changement climatique, avec des effets négatifs d'ores et déjà perceptibles et qui devraient s'accroître dans l'avenir, mais également des opportunités à saisir. Étant donné la contribution de ces secteurs à l'économie française, à l'aménagement des territoires et à la gestion de l'environnement, leur adaptation au réchauffement est un défi majeur.

Or, le changement climatique est un phénomène complexe à appréhender pour les acteurs concernés. Ses effets se font sentir de manière progressive et ils sont difficiles à percevoir compte tenu de la variabilité naturelle du climat. L'ampleur de ces effets ainsi que le contexte socio-économique de demain sont en outre empreints de fortes incertitudes.

La prospective AFCLim vise à donner à voir de manière concrète les principaux effets du changement climatique sur l'agriculture et la forêt en France métropolitaine, à réfléchir aux stratégies d'adaptation possibles et à sensibiliser l'ensemble des acteurs concernés. Pour cela, la démarche adoptée a consisté à partir du singulier et du local pour monter ensuite en généralité : 14 études de cas prospectives ont ainsi été conduites, pour analyser non seulement les changements du climat local, mais aussi les caractéristiques techniques et environnementales qui joueront dans l'adaptation des systèmes de production. Mais l'adaptation n'est pas seulement une affaire de technique : elle mobilisera aussi des facteurs sociaux, économiques, culturels et humains. Pour prendre en compte ces différents moteurs et freins à l'adaptation, une seconde phase du travail a consisté à élaborer des scénarios de contexte socio-économique et à les confronter aux hypothèses d'adaptation formulées dans chaque étude de cas.

Créé en 2008, le Centre d'études et de prospective assure des missions de veille, de prospective et d'évaluation de politiques publiques. Il a également des fonctions d'expertise, d'appui méthodologique et d'animation de réseaux. Ses observations et travaux sont rendus publics à travers plusieurs formats de publications : *Veilles*, *Analyses*, revue *Notes et études socio-économiques*, *Documents de travail*, rapports, etc.

<http://agriculture.gouv.fr/centre-d-etudes-et-de-prospective>

Le rapport AFCLim ne représente pas nécessairement les positions officielles du ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt. Il n'engage que ses auteurs.