



L'érosion hydrique des sols

L'érosion hydrique est en France l'un des processus les plus importants d'érosion des sols, que ce soit sur le territoire métropolitain ou de manière plus prononcée dans les territoires ultra-marins, du fait des conditions climatiques et du relief.

De multiples facteurs influencent l'érosion hydrique : nature et propriétés des sols, relief, protection par le couvert végétal ou climat. Ainsi, sur des sols limoneux particulièrement sensibles à la battance - formation d'une croûte superficielle colmatant la surface du sol et favorisant le ruissellement -, le ruissellement peut se déclencher sur des pentes faibles (inférieures à 5 %) et lors d'épisodes pluvieux peu important¹. Le ruissellement peut devenir plus rapide sur des pentes plus accentuées.

Une revue détaillée des facteurs déterminants de l'érosion des sols agricoles est développée à partir de la page 350 du Volet "écosystèmes agricoles" de l'Évaluation Française des Ecosystèmes et des Services Ecosystémiques ².

Les principaux facteurs biophysiques et exogènes contribuant au contrôle des processus d'érosion des sols sont décrits à partir de la page 350. Par ordre d'importance décroissante figurent :

- la couverture végétale ;
- la constitution minérale et organique du sol.

¹ <http://www.donnees.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lesessentiels/essentiels/sol-perthe-hydrique.html>

²Therond O. (coord.), Tichit M. (coord.), Tibi A. (coord.), Accatino F., Biju-Duval L., Bockstaller C., Bohan D., Bonaudo T., Boval M., Cahuzac E., Casellas E., Chauvel B., Choler P., Constantin J., Cousin I., Daroussin J., David M., Delacote P., Derocles S., De Sousa L., Domingues Santos J.P., Dross C., Duru M., Eugène M., Fontaine C., Garcia B., Geijzendorffer I., Girardin A., Graux A-I., Jouven M., Langlois B., Le Bas C., Le Bissonnais Y., Lelièvre V., Lifran R., Maigné E., Martin G., Martin R., Martin-Laurent F., Martinet V., McLaughlin O., Meillet A., Mignolet C., Mouchet M., Nozières-Petit M-O., Ostermann O.P., Paracchini M.L., Pellerin S., Peyraud J-L., Petit-Michaut S., Picaud C., Plantureux S., Poméon T., Porcher E., Puech T., Puillet L., Rambonilaza T., Raynal H., Resmond R., Ripoche D., Ruget F., Rulleau B., Rush A., Salles J-M., Sauvant D., Schott C., Tardieu L. (2017). Volet "écosystèmes agricoles" de l'Évaluation Française des Ecosystèmes et des Services Ecosystémiques. Rapport d'étude, Inra (France), 966 pages. <https://inra-dam-front-resources-cdn.brainsonic.com/ressources/afile/419271-31a59-ressource-efese-services-ecosystemiques-rendus-par-les-ecosystemes-agricoles-rapport-partie-3-chap-8.pdf>

1. Causes et conditions de déclenchement de l'érosion hydrique des sols

L'érosion hydrique regroupe plusieurs processus d'érosion pour lesquels l'eau est l'agent érosion / vecteur.

Les déterminants de ce type d'érosion sont bien expliqués et illustrés dans de nombreux documents parmi lesquels vous pouvez consulter :

- le cours de Philippe Martin, disponible sous forme de documents vidéo³ ;
- des documents produits pour l'Alsace⁴ permettent de situer de manière interactive le rôle des précipitations et leur impact sur les sols ;
- le guide pratique érosion « Démarche de lutte contre l'érosion des sols : de la préparation à la mise en œuvre »⁵ décrit particulièrement bien les facteurs texture et occupation des sols dans la sensibilité à l'érosion ;
- le site d'information GISER⁶ illustre aussi les processus de l'érosion hydrique.

Les processus d'érosion se déroulent à des échelles variables, allant du m² pour l'effet splash à celle de la parcelle ou du paysage (bassin versant) :

- i. l'effet « splash » ou désagrégation de surface ;
- ii. l'érosion diffuse ou en nappe ;
- iii. l'érosion hydrique linéaire concentrée (de versant ou de fond de talweg) ;
- iv. mouvements de masse (glissement de terrain).

Selon leur échelle, les solutions mises en œuvre pour limiter l'érosion ne seront pas identiques.

La représentation en blocs diagrammes permet de visualiser où ont lieu les différents processus d'érosion hydrique. Ils permettent de distinguer les zones où se produisent des ruissellements, celles où ils se concentrent et celles où les impacts se manifestent visuellement (ravines et sédimentations).

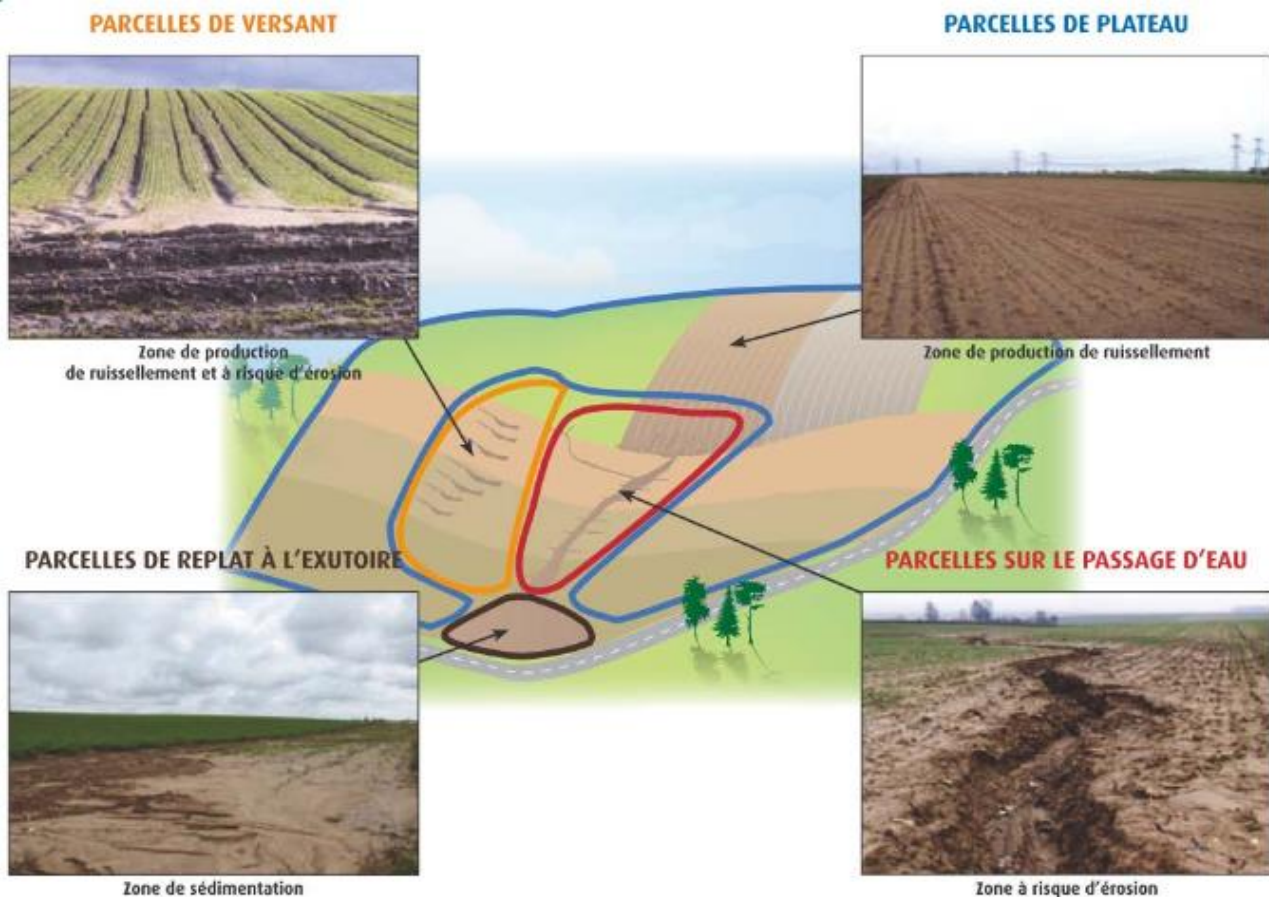
³<https://youtu.be/gmlz6jV32Q0?list=UUCXNhtRW6cbAdrDMVF3ak1w>

⁴<http://gerihco.engees.unistra.fr/>

⁵http://www.gesteau.fr/sites/default/files/gesteau/content_files/document/guideerosion_sagemidouze_2016.pdf

⁶<http://www.giser.be/hydrologie-bassin-versant-agricole/>

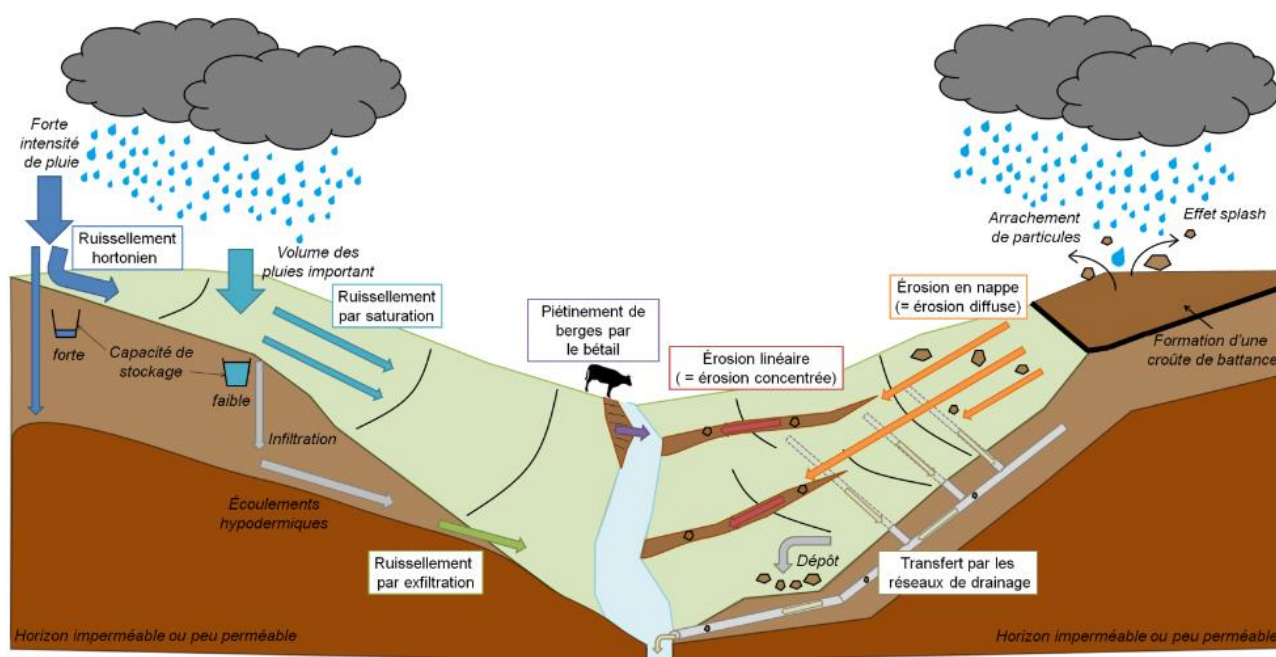
Typologie des processus érosifs à l'échelle d'un versant⁷



Les processus de déplacement sont liés à la circulation de l'eau (flèches en bleu sur la gauche du bloc-diagramme) qui va permettre la mise en mouvement des particules de sol et donc le déplacement d'eau mêlée de sédiments (soit en nappe flèches oranges à droite ou un déplacement sous forme de ravines qui entaillent la surface du sol et entraînent les sédiments jusqu'aux zones où l'eau perd de la vitesse. Il peut y avoir érosion en nappe sans formation de ravine en aval comme il peut y avoir formation de ravines sans déplacement en nappe en amont).

⁷ [https://aides-redevances.eau-loire-bretagne.fr/files/live/sites/aides-redevances/files/Information%20-%20Communication/Publications/Fiche1-Transferts pollutions diffuses agricoles.pdf](https://aides-redevances.eau-loire-bretagne.fr/files/live/sites/aides-redevances/files/Information%20-%20Communication/Publications/Fiche1-Transferts%20pollutions%20diffuses%20agricoles.pdf); [Transferts pollutions diffuses agricoles.pdf](https://aides-redevances.eau-loire-bretagne.fr/files/live/sites/aides-redevances/files/Information%20-%20Communication/Publications/Fiche1-Transferts%20pollutions%20diffuses%20agricoles.pdf) Figure 2 du document Transferts de pollutions diffuses agricoles et de particules de sol aux milieux aquatiques ; agence de l'eau Loire-Bretagne juin 2018 page 3

Ruissellements, érosion hydrique et écoulements dans les réseaux de drainage dans un bassin versant⁸



Pour aller plus loin sur les processus hydrologiques, des illustrations plus détaillées figurent p 37 et 38 dans le document du Partenariat Mondial sur les Sols « Soil Erosion » the greatest challenge for sustainable soil management⁹.

Ces processus sont très souvent combinés dans l'espace et dans le temps.

Toutes les mesures qui permettent de réduire le ruissellement seront favorables à la prévention de l'érosion (dont toutes les mesures prévenant le tassement ou la compaction des sols, ou favorisant les couverts végétaux, voir document 5).

Dans les paysages agricoles, la sensibilité des sols à l'érosion hydrique est avérée :

- En automne et en hiver (pluies faibles) sur des sols limoneux et plus particulièrement pour les sols de faible stabilité structurale, les plus pauvres en argile et en matières organiques. Les cultures d'hiver semées tardivement (entre octobre et décembre) ou dans des conditions limites pour l'implantation¹⁰ constituent les principales occupations à risques, au même titre que les sols nus, sauf si elles sont semées directement sous couvert.
- Lors des orages de printemps et d'été, période à laquelle les pluies de forte intensité affectent les sols non ou peu couverts par la végétation et affinés pour le lit de semence des cultures de printemps. Dans ce cas, les particules de terre sont facilement arrachées et entraînées par les pluies et le ruissellement associé.

⁸http://www.gesteau.fr/sites/default/files/fiche1-transferts_pollutions_diffuses_agricoles.pdf Emilie Cailleaud copyrights image

⁹ <http://www.fao.org/3/ca4395en/ca4395en.pdf>

¹⁰ Telles que des sols trop humides, plus susceptibles d'être affectés par le tassement lors du passage des engins agricoles

1.1 – A l'échelle de la goutte de pluie qui impacte le sol nu : l'effet splash

L'effet splash est le stade initial de la dégradation des sols par érosion hydrique : l'impact des gouttes de pluie occasionne une déstructuration des agrégats de sol (donc de l'état de la surface des sols). Ce processus d'érosion est bien connu des agriculteurs qui doivent tenir compte de la sensibilité de sols battants à la formation de croûtes de battance.

Ce processus, souvent sous-considéré, ne doit pas être négligé dans la lutte contre l'érosion. En effet, suite à la désagrégation des agrégats, les particules de sol deviennent plus mobiles et donc sensibles aux transports lors du ruissellement ou en présence de vent. Par ailleurs, suite à cette désagrégation, la redistribution des particules (à courte distance) tend à « boucher » la porosité de la surface des sols, créant ainsi des conditions moins favorables à l'infiltration et par là même plus favorables à la création de flaques et à l'apparition d'un ruissellement généralisé sur les parcelles^{11, 12, 13}.

1.2 – de l'échelle centimétrique à l'échelle de la parcelle ou des quelques parcelles voisines : l'érosion diffuse ou érosion en nappe

L'érosion diffuse (aussi nommée érosion en nappe) correspond au détachement et au transport des particules lors d'un ruissellement en condition de fine lame d'eau (flaques qui se connectent les unes aux autres). Ce processus est complémentaire et souvent difficilement dissociable de l'effet splash évoqué précédemment. En effet, lors d'événement pluvieux, le premier processus (chronologiquement) est l'effet splash. Dès que la quantité de pluie qui tombe devient supérieure à celle que le sol peut laisser s'infiltrer, des flaques se forment à la surface du sol. Les fragments détachés mis en suspension dans les flaques d'eau s'y déposent et forment une croûte sédimentaire ou croûte de battance pouvant atteindre plusieurs centimètres d'épaisseur. Le sol voit ainsi sa surface se fermer par soudure des particules entre elles, et son micro-relief s'estomper par diminution, puis disparition des mottes. Le sol perd ainsi progressivement sa capacité à emmagasiner l'eau de pluie par infiltration ou rétention superficielle, même avec de faibles pluies. Les excès d'eau qui s'accumulent en surface du fait de la dégradation des états de surface se mettent ensuite à ruisseler lorsque les flaques se connectent les unes aux autres en emportant les particules détachées par le splash.

Le ruissellement en nappe, du fait de sa faible vitesse d'écoulement (de l'ordre du dm/s), n'a pas la capacité d'arracher des particules de sol. C'est en fait l'impact des

¹¹Algayer, B.; Broussaud, M.-J.; Cottard, C.; Eyraud, C.-H.; Morel-Deville, F.; Voisin, V.; Pajon-Perrault, N. & Darboux, F. (2012). Érosion des sols, ruissellement, formation d'une croûte de battance. http://eduterre.ens-lyon.fr/thematiques/sol/erosion/croute_battance

¹²L'érosion des sols : du simulateur de pluie de l'INRA à des travaux pratiques réalisables en classe. Groupe SVTU, IRES, Orléans, 2012 https://www.univ-orleans.fr/sites/default/files/P%C3%B4le%20Science%20de%20la%20vie,%20de%20la%20Terre%20et%20de%20l'Univers/documents/erosion_des_sols.pdf

¹³Algayer, B.; Cottard, C.; Desfougères, L.; Dupont, J.-Y.; Quincé, P.; de Quillacq, A. & Darboux, F. (2012). Fiche protocole : L'érosion du sol par ruissellement. https://www.univ-orleans.fr/sites/default/files/P%C3%B4le%20Science%20de%20la%20vie,%20de%20la%20Terre%20et%20de%20l'Univers/documents/fiche_protocole_ruissellement_def.pdf

gouttes de pluie qui arrache les particules et les met en suspension dans l'eau du ruissellement en nappe.

Les deux signes les plus connus de l'érosion en nappe sont :

- le lissage de la surface et le colmatage de la porosité (croûtes de battance) avec la présence possible de plages de couleur claire aux endroits les plus décapés, correspondant au dépôt sélectif des particules mobilisées
- les dépôts de sédiments en bas de parcelle.

Dans le cas des cultures annuelles, la formation d'une nappe d'eau en surface (et donc d'érosion en nappe) est favorisée par une faible variation micro-topographique. Cette variation est souvent plus marquée sous cultures pérennes associées à des rangs / inter-rangs (exemple : rang de vigne).

1.3 – A l'échelle des talwegs ou des versants de grandes parcelles ou d'îlots cultivés : l'érosion hydrique linéaire

L'érosion linéaire est liée à une concentration des nappes superficielles d'eaux de ruissellement dans les points bas du relief et via toutes sortes de voies facilitant la circulation des eaux (en particulier sous l'effet des activités humaines : traces de passage d'engins agricoles ou forestiers, limite de parcelles, chemins, etc.). Dans ce cas, la concentration des eaux de surface permet au ruissellement de surface de prendre de la vitesse et de détacher le sol.

Contrairement à l'érosion en nappe qui « lisse » le relief, l'érosion linéaire « incise » la surface. Les signes de ce type d'érosion sont décrits en 4.2.

Dans certains cas particuliers, toute la couche travaillée (jusqu'au labour) peut aussi être arrachée sur plusieurs mètres ou dizaines de mètres de large lors de ruissellements concentrés à fort débit. Ce phénomène se produit lorsqu'un grand nombre de rigoles proches les unes des autres finissent par se rejoindre latéralement. Une telle situation est favorisée par des épisodes de précipitations très intenses, en particulier sous climat tropical. L'érosion méditerranéenne est spécifique du fait de son climat contrasté : les orages violents d'été peuvent provoquer des rigoles plus ou moins profondes, les orages d'automne également lorsqu'ils surviennent sur des sols desséchés (ayant subi la dessiccation estivale), souvent minces et pauvres en matière organique.

Il faut distinguer deux types d'érosion linéaire :

- l'une est localisée dans les talwegs,
- l'autre se présente en griffures sur les versants.

Dans le cas des cultures pérennes (viticulture et arboriculture), plusieurs types de processus érosifs sont à différencier, en fonction de la conduite de la culture :

- conduite en sol nu non travaillé (avec un entretien chimique du sol), l'absence de couvert végétal et le passage répété d'engins tendent à diminuer la porosité de surface et à créer un tassement de surface. Ces deux effets

concourent à la diminution de l'infiltrabilité de surface et donc à une augmentation des volumes d'eau ruisselants ;

- conduite avec entretien mécanique pour le contrôle des adventices (plusieurs travaux du sol au printemps - début été), ou lorsque la culture (notamment vigne) est buttée/débuttée (pour lutter contre les gelées d'hiver)
- le travail de surface (5 à 12 cm) tend à augmenter l'infiltration des eaux de pluies sur le volume travaillé. Le risque est une saturation de ce volume travaillé par défaut d'infiltration dans les horizons de sols sous-jacent (>12 cm) s'ils sont tassés. Cette saturation peut être responsable d'un ruissellement de sub-surface pouvant décaper l'horizon de surface (risque élevé en cas de fortes pluies).

➤ Cas des sols forestiers :

De manière générale, les couverts forestiers favorisent l'interception et l'infiltration de l'eau. Toutefois, lors d'interventions sylvicoles mécanisées, les sols peuvent être exposés à des conditions favorisant le tassement et donc le ruissellement puis l'érosion hydrique.

Plusieurs processus non visibles contribuent ici à favoriser les ruissellements qui aboutiront à l'érosion en aval du trajet de l'eau, lorsqu'elle aura suffisamment d'énergie pour déplacer les particules de sol :

- le tassement : il s'agit de l'effet de la pression au sol si elle est supérieure à la portance. La sensibilité au tassement dépend de la texture du sol. Le tassement en profondeur est plus rapide et important si le sol sensible est humide. Ceci induit notamment une perte de perméabilité pour l'eau et une perte de capacité de rétention en eau.
- le compactage : les tassements répétés d'un même emplacement conduisent au compactage du sol, le rendant imperméable à l'eau. Le compactage correspond à la massification totale du sol car il n'y a plus de vide permettant circulation de l'eau et de l'air, ce qui a des conséquences sur l'érosion mais aussi sur le peuplement forestier.

La mise en place de cloisonnements d'exploitation est encouragée car elle permet de diminuer la surface compactée et donc l'érosion sur l'ensemble de la parcelle. Au niveau des cloisonnements, le passage répété d'engins tend à diminuer la porosité de surface et à créer un tassement de surface sur ces zones. Ces deux effets concourent à la diminution de l'infiltrabilité de surface et donc à une augmentation des volumes d'eau ruisselants, pouvant entraîner des phénomènes d'érosion localisées. Les pentes aggravent ces effets.

Les coupes rases induisent a priori les situations les plus à risque au titre de l'érosion. Toutefois, si une strate herbacée continue est capable de s'installer rapidement après la coupe, le sol va se retrouver couvert et le risque d'érosion va diminuer.

Les incendies comme les coupes rases vont supprimer le couvert végétal préexistant et augmenter l'exposition des sols aux précipitations intenses, et donc l'exposition aux risques d'érosion¹⁴, particulièrement sous climat méditerranéen.

En forêt, les traces d'érosion peuvent être masquées par la végétation. L'érosion peut être marquée (ravines, rigoles) dans les cloisonnements d'exploitation, ou diffuse en absence de cloisonnements (elle attaque de manière discrète une grande surface). Outre l'érosion mécanique qu'ils induisent, les travaux forestiers mécanisés réalisées en conditions humides peuvent aussi amener à une augmentation de l'érosion hydrique des sols forestiers et de la turbidité des eaux sortant d'un massif forestier (CNPF, 2014, Pratic Sols, 2017)¹⁵.

La sensibilité à l'érosion en milieu montagnard est fréquemment identifiée et décrite (Guide Alpes Sud, 2012), toutefois, l'érosion se rencontre aussi en domaine collinaire ou de plaine. Des travaux concernant la susceptibilité des sols forestiers à l'érosion sont disponibles, par exemple : Sol sensible ou résistant ? Éléments simples de diagnostic de la sensibilité à la dégradation chimique ou physique¹⁶.

2. Observer l'érosion hydrique concentrée

De manière générale, les phénomènes d'érosion hydrique des sols sont plus particulièrement sévères dans les conditions suivantes : fortes pluies (facteur érosivité des pluies), sols avec une faible stabilité structurale - de texture limoneuse, à faible teneur en matière organique - (facteur érodibilité des sols), ou fortes pentes ou encore absence de couverture végétale protectrice (sols nus ou peu couverts). Ces conditions peuvent donc être accentuées ou au contraire atténuées selon les modalités de gestion.

L'érosion hydrique linéaire (ou érosion concentrée) (voir processus à 4.1.3) se manifeste par des incisions de la surface du sols facilement observables et bien connus des agriculteurs :

- **rigoles** : il s'agit d'incisions de taille décimétrique, qui peuvent être « effacées » / comblées par un travail de sol ; ces incisions du sol résultent de la concentration du ruissellement d'eau dans les talwegs ou fonds de vallons sur les versants et formant des ruisselets parallèles (non convergents). Elles sont particulièrement visibles en haut des pentes, sur le bord des pistes ou dans les champs sillonnés par les labours ou dans les forêts dans les cloisonnements d'exploitation (traces des engins forestiers) en situations de forte pente avec ornières profondes ;
- **ravines** (rigoles approfondies) : ce sont des incisions de plus grande dimension, non effaçables par un travail de sol classique et qui deviennent souvent des éléments constitutifs du relief, des réseaux de drainage

¹⁴ https://www.persee.fr/doc/bagf_0004-5322_1993_num_70_5_1711

¹⁵ <http://franceboisforet.com/wp-content/uploads/2015/02/guide-eau-forestiere.pdf> & <https://www.onf.fr/produits-services/+/192::praticsols-guide-sur-praticabilite-des-parcelles-forestieres.html>

¹⁶ Bernard Jabiol, Jacques Ranger, Claudine Richter, Dossier de l'environnement de l'INRA n°20, Dossier de l'environnement de l'INRA n°20, <https://www7.inra.fr/dpenv/pdf/JabiolD20.pdf>

superficiel. Elles sont formées par la concentration de ruissellement des filets d'eau, là où les rigoles précédemment définies sont requalifiées en ravine, lorsque la profondeur (dimension) de l'incision interdit son nivellement par les façons culturales, c'est à dire par de simples instruments aratoires ; on parle de ravines lorsque le travail du sol ne peut pas effacer totalement les traces de cette modification topographique .



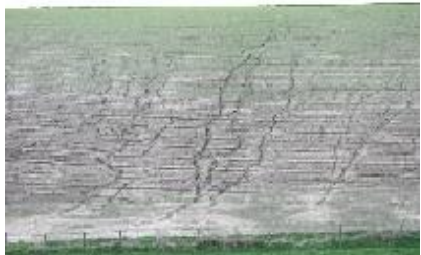
Les rigoles se distinguent des griffes par une plus grande continuité ; elles traduisent un degré érosif plus avancé que les griffes, et leur continuité peut indiquer une exportation des sédiments à plus longue distance. En pratique, une griffe arrache le lit de semence (environ 5 à 10 cm de profondeur) et la rigole descend jusqu'au fond du labour (environ 20 à 30 cm).

Il faut distinguer 2 types d'érosion linéaire :

- l'une est localisée dans les talwegs,
- l'autre se présente en griffures sur les versants.

[2.1 Illustration des principales situations d'érosion hydrique : cas des cultures annuelles](#)

Référentiel photographique des situations d'érosion linéaires observables¹⁷

VUE GÉNÉRALE		
		
<p>Erosion en rigole de versant dans traces de roues (semoir et tracteur) sur blé cultivé dans le sens de la pente.</p>	<p>Ravine</p>	<p>Erosion linéaire de versant par ruissellement concentré : rigoles dans blé.</p>

¹⁷crédit photographique : INRA-AGROPARISTECH-AREAS



Erosion linéaire de talweg par ruissellement concentré : ravine temporaire dans blé.



Erosion en rigole de talweg par ruissellement concentré dans maïs.



Erosion en rigole de versant dans traces de passage de dents pour le déchaumage (néo-déchaumeur) travaillé dans le sens de la pente.



Trace d'érosion ravinaire intra-parcellaire



Ravine dans une parcelle de céréale



Ruissellement concentré chargé en sédiments qui s'écoule dans une ravine inter-parcellaire pendant une pluie



Rigoles



Erosion linéaire de début de talweg par ruissellement concentré : ravine temporaire dans maïs.



Erosion en ravine temporaire de bout de champ de blé avec coulée d'eau boueuse.



Erosion linéaire de talweg par ruissellement concentré : ravine temporaire dans blé.

2.2 - Cas des cultures pérennes (vignes et arboriculture)

Dans le cas des cultures pérennes, l'érosion des sols se produit essentiellement dans les inter-rangs (elle reste également constatable dans les rangs, par accumulation des dépôts provenant des inter-rangs ou lors d'une incision de type rigole ou ravine progressant d'un inter-rang à l'autre, cas des systèmes rang / inter-rang parallèles à la ligne de plus grande pente topographique).

En effet, dans le rang et en période de végétation, la culture en place crée un couvert qui protège le sol de l'effet splash, alors que dans l'inter-rang les conditions sont souvent réunies pour une concentration du ruissellement (peu ou pas de couvert, possibilité de tassement, rangs orientés comme des « gouttières » le long des lignes de pente, etc.).

La culture de la vigne s'effectue souvent sur des pentes assez importantes (en particulier en Bourgogne et en Champagne), traditionnellement les terres qui étaient déplacées vers le bas des parcelles par le travail du sol et par l'action de l'eau étaient remontées à dos d'homme¹⁸. Ces pratiques ayant régressé, les sols viticoles sont parmi ceux qui sont soumis à des pertes particulièrement pénalisantes pour les terroirs.

¹⁸https://chaireunesco-vinetculture.u-bourgogne.fr/colloques/actes_clima/Actes/Article_Pdf/Garcia.pdf

Description des situations d'érosion observables¹⁹

Erosion intense en inter-rang de vignes dans le sens de la pente avec mise à nu des racines



Comparaison entre inter-rang travaillé et enherbé dans une parcelle expérimentale



Etat de surface d'une vigne juste après arrachage. Etat sensible au regard des événements pluvieux qui peuvent générer par la suite une érosion importante. Par ailleurs, état d'érosion aratoire.



Déchaussement de pieds de vigne (racine déchaussées), traduisant la présence de processus d'érosion de sol (dans le cas d'espèce une combinaison d'érosion hydrique concentrée et d'érosion aratoire).



Déchaussement de pieds de vigne (racine déchaussées), traduisant la présence de processus d'érosion de sol (dans le cas d'espèce une érosion hydrique concentrée).

2.3- Cas des bois et forêts (des illustrations figurent dans le guide Pratic Sols²⁰ page 25 et suivantes)

De manière générale, les couverts forestiers favorisent l'interception et l'infiltration de l'eau.

D'importantes études sur l'impact des exploitations forestières sur les sols ont permis de définir des guides de bonnes pratiques intégrées dans les cahiers des charges imposés aux entreprises. Ainsi les engins doivent rester sur des itinéraires

¹⁹Crédit Photographique : Stéphane FOLLAIN

²⁰<https://www.onf.fr/produits-services/+192::praticsols-guide-sur-praticabilite-des-parcelles-forestieres.html>

dédiés, appelés cloisonnements d'exploitation, qui supportent tous les dégâts décrits ci-après afin d'épargner le reste des surfaces : en moyenne 4/5 des sols sont ainsi préservés pour 1/5 impactés.

Les types d'érosion décrits ci-après sont ceux que l'on peut observer dans les cloisonnements d'exploitation en conditions d'exploitation par temps humide et en plaine :

- **scalpage** : déplacement latéral ou tangentiel des horizons supérieurs du sol . Il est généralement causé par le traînage des grumes ou par des engins à chenilles.

- **orniérage** : trace creusée par les roues des engins forestiers. L'ornière est causée par le compactage (perte de volume à masse constante et donc de porosité) et le fluage (formation du bourrelet) du sol à des degrés variables, selon l'état d'humidité du sol. Ceci entraîne un tassement et une réduction de la circulation de l'eau.

3. Prédiction des risques d'érosion hydrique des sols, pour mieux prévenir²¹

Un modèle, développé à l'Inra d'Orléans, permet une approche du phénomène d'érosion au-delà des manifestations de crises que sont les coulées boueuses.

Ce modèle, développé par l'Inra, utilise pour le calcul France entière, des bases de données géographiques relatives au sol (base de données européenne sur les sols au 1 : 1 000 000), à l'occupation des sols (CORINE Land Cover), à la topographie (pente... : modèle numérique au pas de 250 m), et au climat (données de précipitations sur 30 ans).

Les différentes informations sont combinées à l'aide d'un système d'information géographique. Les paramètres sont hiérarchisés et pondérés en fonction des connaissances actuelles des mécanismes érosifs.

Chaque combinaison de paramètres est ensuite affectée d'un code de sensibilité à l'érosion. Les résultats obtenus sont intégrés pour chaque saison, selon différentes unités spatiales : bassins versants, petites régions agricoles, unités administratives, etc. Pour chaque échelle d'utilisation (européenne, régionale...), les meilleures données disponibles sont recherchées.

La probabilité d'occurrence d'une érosion d'une intensité donnée est appelée « aléa érosion ». L'aléa érosion est caractérisé par cinq classes d'intensité : le niveau 5 représentant la probabilité la plus élevée qu'une érosion se produise. Pour plus de détail il est possible de se référer à l'étude IFEN INRA publiée en 2002²².

²¹Source : institut français de l'environnement numéro 106 septembre 2005

²²http://www.side.developpement-durable.gouv.fr/EXPLOITATION/ACCRDD/search.aspx?SC=TOUS_SAUF_PERI_ACCRDD&QUERY=+%C3%A9rosion+france#/Detail/%28query:%28Id:%270_OFFSET_0%27,Index:1,NBResults:385,PageRange:3,SearchQuery:%28ForceSearch:!f,Page:0,PageRange:3,QueryString:%27%C3%A9rosion%20france%27,ResultSize:10,ScenarioCode:TOUS_SAUF_PERI_ACCRDD,ScenarioDisplayMode:display-standard,SearchLabel:%27%27,SearchTerms:%27%C3%A9rosion%20france%27,SortField:!n,SortOrder:0,TemplateParams:%28Scenario:%27%27,Scope:ACCRDD,Size:!n,Source:%27%27,Support:%27%27%29%29%29%29

Attention: il ne faut pas confondre aléa et vulnérabilité: la vulnérabilité correspond à la sensibilité d'un territoire ou d'une population lors de la réalisation d'un aléa. Par exemple, une zone peut présenter un aléa élevé mais sa vulnérabilité peut être diminuée en mettant en œuvre des pratiques défavorables au déclenchement du processus: par exemple pour l'aléa hydrique une terre labourée, sans couvert sera très vulnérable, alors qu'une prairie ou un sol couvert par une culture le sera beaucoup moins, d'où l'importance de la mise en œuvre de solutions de prévention.

D'autres modèles existent, dont celui appliqué à l'échelle de l'Europe par le JRC: ce modèle s'appuie sur les facteurs érodibilité du sol, nature du couvert et de sa gestion, la topographie et l'érosivité des pluies. Les résultats sont consultables sur un site de la commission européenne²³.

Toutefois, quel que soit le modèle de prédiction mobilisé, les résultats restent toujours à confronter à l'appréciation/validation par des experts de terrain qui peuvent identifier les zones où les résultats du modèle sont surestimés ou au contraire sous-estimés.

Cette démarche de validation a pu être conduite par exemple en Bretagne²⁴, Alsace²⁵ et en Languedoc Roussillon²⁶, conduisant à améliorer l'utilisation locale des modèles, en particulier en mobilisant des informations plus précises, plus pertinentes, en entrée des modèles.

Il existe une possibilité de comparaison avec/sans prairie à l'échelle bassin versant (en Bretagne, Normandie: AREAS, Alsace)

En France métropolitaine, l'aléa d'érosion des sols moyen à très fort concerne environ un cinquième du territoire. Dans le nord de la France, les terres arables sont particulièrement vulnérables en raison d'un faible couvert végétal une partie de l'année. En revanche, dans le nord du Bassin parisien et le Sud-ouest, c'est la nature des sols particulièrement sujets à la formation d'une croûte colmatant la surface (battance), qui est à l'origine du ruissellement et de l'érosion. Enfin, l'aléa érosif élevé s'explique par l'intensité des pluies, combinée aux fortes pentes dans l'arc alpin et en Corse, ou à l'hétérogénéité des zones agricoles dans l'est de la Bretagne.

Des modélisations ont également été effectuées sur les territoires ultramarins, par exemple par l'IRD pour la Martinique et la Réunion²⁷

S'il est impossible de modifier la texture des sols, et l'intensité des pluies, très coûteux de modifier les pentes, il reste possible d'améliorer la nature des sols en augmentant leur teneur en matière organique, et d'améliorer la durée des couverts végétaux afin de réduire l'aléa érosion. La carte qui suit permet d'identifier les zones

²³<http://eusoirs.jrc.ec.europa.eu/library/themes/erosion>

²⁴https://www.researchgate.net/publication/280989708_Demarche_de_validation_regionale_par_avis_d'expert_s_du_modele_MESALES_d'estimation_de_l'alea_erosif

²⁵https://www.researchgate.net/publication/280989708_Demarche_de_validation_regionale_par_avis_d'expert_s_du_modele_MESALES_d'estimation_de_l'alea_erosif

²⁶http://www.afes.fr/wp-content/uploads/2017/10/EGS_13_3_antoni.pdf

²⁷ Spatialisation de l'érosion hydrique des sols sur les îles de la Martinique et de La Réunion, Utilisation de l'équation universelle révisée de perte de sol <http://ifrecor-doc.fr/items/show/1623>

où il est le plus important de mettre en œuvre les démarches de prévention qui permettront de limiter la vulnérabilité à l'érosion et donc de conserver les sols²⁸.

L'utilisation des modèles d'érosion disponibles en France, couplée à l'estimation saisonnière des couverts a permis de modéliser sur l'ensemble du territoire métropolitain les services écosystémiques rendus²⁹ par les couverts végétaux. Cette étude montre l'efficacité des pratiques agricoles permettant une couverture des sols par la végétation – couverts en période de jachère, gestion des résidus en surface, semis sous couvert permanent –, tout particulièrement dans les régions de grandes cultures soumises à d'intenses précipitations d'automne et d'hiver.

➤ Pertes en terres dues à l'érosion hydrique :

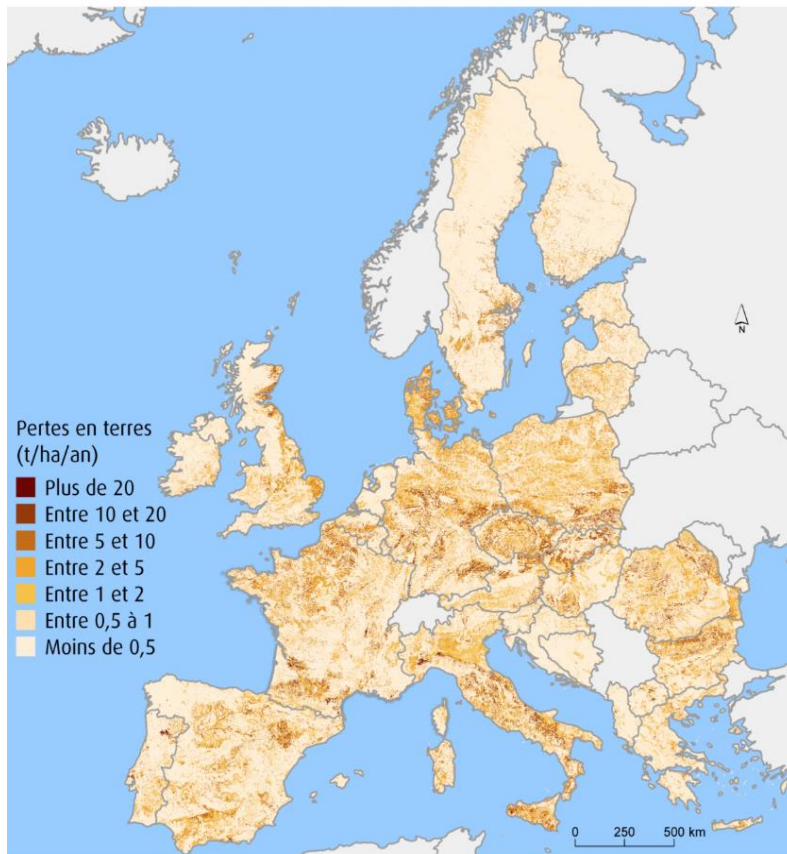
Des modèles prédictifs permettent de calculer les quantités de terre qui sont entraînées vers les eaux de surface du fait de l'érosion hydrique.

Les pertes en terre dues à l'érosion hydrique sont estimées à 1,5 t/ha/an en moyenne par le modèle français, avec une forte variabilité (jusqu'à 20 % du territoire affecté par des taux très élevés). **Les vignobles arrivent en tête, suivi par les terres cultivées et les vergers.** Ainsi, les zones limoneuses du Nord et les plaines cultivées de la vallée de la Garonne sont également fortement exposées aux pertes en terre. Dans environ la moitié des régions, plus de 20 % de la surface peut être affectée par une érosion supérieure à 2 t/ha/an : les régions de grandes cultures intensives (Centre-Val de Loire, est de la Normandie, Ile-de-France, Hauts-de-France) et est de l'Occitanie, ainsi que les régions d'élevage intensif de l'Ouest (ouest de la Normandie, Bretagne, Pays de la Loire).

²⁸ http://geoidd.developpement-durable.gouv.fr/geoclip_stats_o3/#s=5_annuel;v=map16;i=sol_erosion.alea_erosion;l=fr

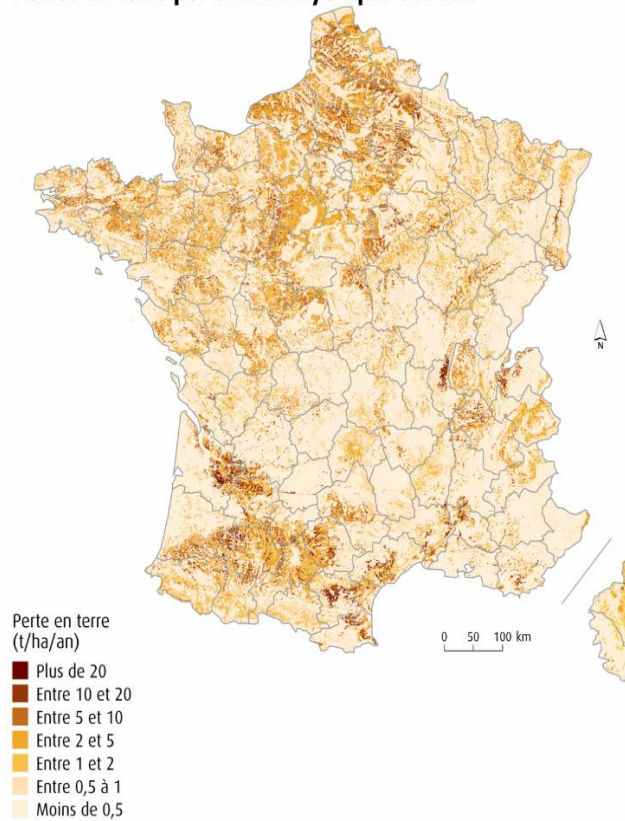
²⁹ <http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Etudes/Toutes-les-actualites/EFESE-services-ecosystemiques-rendus-par-les-ecosystemes-agricoles>

Pertes en terre par érosion hydrique des sols en Europe



Source : BRGM, d'après Cerdan et al., 2010. Traitements : SOeS, 2013.

Pertes en terre par érosion hydrique des sols



Source : BRGM, d'après Cerdan et al., 2010. Traitements : SOeS, 2013.

Une perte de sol supérieure à 1 t/ha/an peut être considérée comme irréversible sur une période de 50 à 100 ans.

Tableau de conversion de la perte en terre modélisée en perte d'épaisseur de sol estimée sur 100 ans :

Perte en terre (en T/ha/an)	1T/ha/an	5T/ha/an	10T/ha/an	20T/ha/an
Perte d'épaisseur sur 100 ans, (en cm)	0,7 cm	3,6 cm	7,1 cm	14,3 cm

Ce tableau permet de lire en termes d'épaisseur, les résultats portés sur les cartes et graphiques représentant les pertes en termes de tonnages.

Méthode de calcul :

Pour passer de la perte en terre à la perte en épaisseur sur 100 ans, il faut calculer le volume perdu par ha/an, en m³. Pour calculer le volume annuel, il faut faire une hypothèse de densité apparente du sol.

On obtient ainsi un tonnage annuel de perte par hectare. Ce tonnage est multiplié par 100 pour obtenir la perte de volume/ha sur la durée de 100 ans ; puis ce volume par ha est divisé par 10 000 pour obtenir l'épaisseur perdue sur 1 m² (1ha = 10 000 m²).

Ces calculs sont effectués en considérant l'hypothèse de densité apparente du sol de 1,4 (valeur issue des observations du réseau de mesure de la qualité des sols du GIS sol).

Ces valeurs sont à comparer avec la vitesse de formation des sols, variable selon les natures de roches, mais évaluée généralement entre 2 et 3 cm pour 1000 ans (chiffres communiqués par le partenariat mondial sur les sols FAO) : ainsi, même une érosion d'une tonne/ha et par an retire 7 cm en 1000 ans alors que la vitesse de formation du sol est deux à trois fois moindre.

Les 1,5 tonnes qui partent sont celles de meilleure qualité : il s'agit d'une perte sélective de la partie la meilleure du sol.

L'érosion hydrique peut s'ajouter à l'érosion aratoire favorisée également par des terrains en pente.

Même si leur extension est limitée, les zones où les pertes potentielles sur 100 ans atteignent près de 15 cm correspondent à des pertes de biodiversité potentielle et de fertilité – donc de potentialité de production biologique, alimentaire et économique - qui ne sont absolument pas négligeables. La vitesse de constitution des sols n'est en rien comparable à une telle vitesse de dégradation : certains sols se sont constitués à la faveur d'événements très anciens qui ne se reproduiront pas (par exemple la formation des sols très fertiles les plus sensibles à l'érosion hydrique par exemple remonte aux périodes inter-glaciaires durant lesquelles le vent a transporté des particules fines aboutissant à l'accumulation de dépôts éoliens de grandes épaisseurs).