



Avis du Comité scientifique et technique (CST) « Gestion des éléments nutritifs et des émissions vers les milieux »

Alternatives à la balance globale azotée (BGA)

15 juin 2021

I – Contexte

Le CST a émis un avis défavorable à la méthode de calcul de la balance globale azotée « adaptée » (BGAA), et à la mobilisation de cet indicateur dans la réglementation associée à la Directive « Nitrates » avec un seuil maximal. Cet indicateur visait à renforcer le contrôle de l'équilibre de la fertilisation azotée dans les zones à enjeux avérés de pollution par les nitrates d'origine agricole (Zones d'actions renforcées (ZAR) des Programmes d'actions régionaux (PAR) Nitrates ; cf. Arrêté du 7 mai 2012 modifié relatif aux actions renforcées à mettre en œuvre dans certaines zones ou parties de zones vulnérables en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole).

II – Question posée et forme de la réponse

Quelles sont les alternatives existantes, ou envisageables, à un seuil maximal de solde de balance globale azotée, dans le but d'identifier et de réduire/supprimer les pratiques de surfertilisation ?

La réponse du CST pourra prendre la forme d'une grille d'analyse des dispositifs alternatifs possibles à la BGA identifiés par le CST et de leurs avantages/inconvénients.

Ce travail pourra suivre trois phases :

1. Établir une liste de dispositifs alternatifs à étudier ;
2. Construire une grille d'analyse des dispositifs basée sur des critères incluant notamment la disponibilité des données d'entrée, l'échéance possible pour leur opérationnalité, la pertinence d'une utilisation réglementaire, etc. ;
3. Analyser par cette grille les dispositifs identifiés par le CST, tout en laissant le champ ouvert à d'autres dispositifs non encore identifiés.

Le Comité scientifique et technique (CST) « Gestion des éléments nutritifs et des émissions vers les milieux » (GENEM) est un groupe d'experts indépendants réuni sous l'égide des ministères en charge de l'Agriculture et de l'Environnement. Il est constitué, par ordre alphabétique, de : Luc Delaby, Jean-Louis Drouet, Patrick Durand, Bruno Félix-Faure, Sylvain Foray, David Leduc, Laurence Loyon, Etienne Mathias, Baptiste Soenen, Julien Tournebize, Christophe Vandenberghe, Françoise Vernier, Françoise Vertès.

Pourront notamment être examinés les dispositifs suivants :

- reliquats entrée hiver ;
- modélisation, de type Syst'N ;
- renforcement des contrôles des pratiques de fertilisation ;
- obligation supplémentaire d'enregistrement et de suivi des flux d'azote à l'échelle de l'exploitation (ex : Déclaration des flux d'azote – DFA en Bretagne) ;
- bilan matière simple, comme le bilan apparent.

III – Avis du CST GENEM

Les membres du CST se sont interrogés lors de la réunion du 26 novembre 2019 sur la faisabilité du travail tel qu'il était proposé dans le projet de programme de travail. Il est apparu possible de recenser des alternatives dans la bibliographie (sans prétendre à l'exhaustivité) et de proposer une grille d'analyse ainsi que des recommandations pour une étude plus poussée, que le CST n'envisage pas de réaliser lui-même. Il a été également proposé d'enrichir cette approche par les éléments à discuter dans le dossier 9 (« *Quels leviers pour améliorer l'appropriation par les exploitants agricoles des enjeux et des pratiques pour une meilleure gestion des éléments nutritifs ?* »)

Il convient aussi de rappeler la difficulté de la définition du terme « surfertilisation », et donc de celui de « fertilisation équilibrée ». Ce terme recouvre implicitement la satisfaction de deux objectifs pouvant être contradictoires, à savoir : 1) éviter que la disponibilité en azote soit limitante à la croissance du végétal et au rendement de la culture et 2) éviter les pertes nitriques dues à une concentration excessive dans le sol en période de drainage. L'opérationnalisation actuelle de cette notion consiste en un calcul de dose optimale basée sur des méthodes, des hypothèses et des références faisant l'objet de compromis dans les Groupes Régionaux d'Expertise Nitrates (GREN), et associée à une recommandation de couverture automnale sensée « éponger » les erreurs de calculs ou les aléas de culture. Notons d'ailleurs qu'avec la diversification des systèmes de cultures, par les associations culturales, les rotations ou encore les types de matières fertilisantes, ce calcul tend à devenir de plus en plus incertain. Quoi qu'il en soit, en suivant cette logique, dans toutes les situations où cette couverture automnale n'est pas possible ou insuffisante, la dose optimale devrait être minorée, ce qui n'est pas le cas. On voit donc par cet exemple qu'il existe des cas possibles de « surfertilisation » parfaitement légaux.

1. Quelques remarques générales sur les indicateurs

- **Ne pas croire à l'existence d'un indicateur idéal** : un indicateur facile à établir, même s'il est peu précis, peut être utilisé pour le contrôle de masse et l'identification des situations à problème ; pour celles-ci, des indicateurs plus précis seront nécessaires pour comprendre l'origine du problème.
- **Que doit-on associer à un indicateur pour que sa mise en œuvre soit pertinente** (interprétation, accompagnement) ? Un indicateur unique incite à « tricher » ou à contester les résultats, et peut aussi avoir des effets pervers. Associer un ensemble d'indicateurs de type « bilan médical » paraît plus intéressant qu'une « note ».
- Il n'existe donc **pas d'outil unique et générique idéal**, mais **plutôt un ensemble d'outils à utiliser en complémentarité selon les situations**. L'utilisation

réglementaire de ces outils pose toujours des questions de complexité, de coûts de transaction, de détournement, voire d'effets pervers.

- Utilisation possible plutôt en accompagnement et en animation... ? Peut-il y avoir obligation de recourir à un **outil/indicateur vu comme une aide au diagnostic, un conseil, un appui** ?
- Élément de contexte récent : les mêmes débats et interrogations sur les mêmes indicateurs de bilans N ont lieu actuellement **en Allemagne**, en contentieux Directive Nitrate, avec l'**abandon de la BGA** à cause des trop grandes incertitudes sur plusieurs postes de calcul au profit du bilan apparent qu'il est possible de renseigner à partir de données comptables. Les auteurs (Löw *et al.*, 2021) évoquent le même type de réticences/crispations des acteurs concernés par ces choix, et les mêmes difficultés de prédiction des risques d'émissions d'azote que celles discutées au sein des groupes de travail ministériels en France.

2. Dispositifs alternatifs à la BGA regroupés en :

a. Indicateurs

- **Les indicateurs de types bilans « azote » (indicateurs de résultat ou prévisionnel)** : bilan fertilisation à la parcelle, balance globale azotée, bilans N et P apparents à l'échelle de l'exploitation (et calculs d'efficacité, basés sur les mêmes données) ou par atelier.

En soi, c'est utile et instructif de faire des bilans « azote » à ces différentes échelles, les problèmes étant liés à la fixation d'un seuil et à la mobilisation de diverses hypothèses peu vérifiables dans les calculs.

Le moyen le plus efficace de limiter les pertes environnementales sans pénaliser outre mesure les producteurs est d'agir sur l'efficacité azotée des systèmes de production, c'est-à-dire leur capacité à valoriser au mieux toutes les sources d'azote. Cette efficacité se juge en faisant le bilan et le rapport entre la totalité de l'azote entrant (y compris l'azote des aliments concentrés achetés) et la totalité de l'azote sortant de l'exploitation : Godinot *et al.* (2020) expliquent les intérêts et les limites des différentes méthodes de calcul. Il faut souligner l'intérêt de travailler en relatif (par rapport à l'efficacité théorique maximale atteignable pour un type de production donnée). La saisie des données et le calcul peuvent être facilement automatisés (voir le calculateur fourni par les auteurs). Pour être véritablement efficaces, ces indicateurs devraient être utilisés dans le cadre d'un accompagnement individuel ou d'animations de groupes d'agriculteurs, **ne pas être assortis de limites réglementaires encourageant les fraudes, mais être néanmoins obligatoires** (*a minima* pour bénéficier d'aides ou de subventions).

- **Les indicateurs de « résultats » : analyse de reliquats d'azote minéral (Nmin) du sol dans les parcelles**

Les plans de lutte contre les algues vertes font une large place aux mesures de reliquats de début drainage (RDD) ou post absorption (RPA). Il apparaît que ces mesures doivent obéir à un protocole rigoureux pour fournir des informations fiables et utilisables pour un suivi pluriannuel. Des difficultés de mise en œuvre de ces mesures ont été rencontrées par les différents acteurs des plans de lutte contre les algues vertes, portant sur le calendrier des mesures, la régularité des mesures, la permanence des méthodes, les délais de

traitement et la disponibilité des résultats, les difficultés d'interprétation en fonction des cultures et des situations locales, ainsi que le caractère délicat des préconisations qui en sont issues.

RPA – Reliquat post absorption : mesure à la fin de l'absorption d'azote par la plante ce qui conduit parfois à des mesures avant récolte
RPR – Reliquat post récolte : mesure lorsque la culture a été récoltée
RDD – Reliquat début drainage : mesure dès l'atteinte d'un état de saturation hydrique du profil de sol
REH – Reliquat entrée d'hiver : mesure au cours d'une période de quelques semaines, avant le début de l'hiver
RSH – Reliquat sortie d'hiver : mesure en fin d'hiver ou à la reprise de la végétation, en vue d'un conseil prévisionnel de fertilisation

L'analyse des reliquats couplée avec l'enregistrement des pratiques permet de sensibiliser les agriculteurs à un flux qui reste invisible pour eux sinon. Un lien existe avec le dossier 9.

Les reliquats sortie d'hiver (RSH) permettent d'ajuster la fertilisation en fonction du Nmin disponible. Les reliquats post-absorption (RPA) sont des indicateurs de l'azote non utilisé par la culture (sur-fertilisation par rapport à la biomasse produite), les reliquats de début drainage (RDD) sont des indicateurs du risque de lixiviation de nitrate (RPA + minéralisation d'automne – absorption par les couverts végétaux).

La réalisation de reliquats avec l'enregistrement des pratiques permet de sensibiliser les exploitants aux conséquences de leurs pratiques, et aussi de diagnostiquer les systèmes qui seraient à revoir entièrement.

La matrice AFOM (Atouts Faiblesses Opportunités Menaces) de cet indicateur RDD est présentée en annexe 1. L'expérience de mise en œuvre de cet indicateur en Belgique montre que pour des cultures telles que le maïs et la pomme de terre, le reliquat entrée hiver (REH) est suffisamment robuste car très proche du RPA (15 années d'expérimentations à disposition). Cela est un peu moins vrai pour la betterave, car une légère sur-fertilisation est « stockée » dans les feuilles de betterave. Pour les cultures récoltées en été (colza, céréales, légumineuses), ce sont avant tout les implantations de cultures intermédiaires pièges à nitrates (CIPAN), qu'elles soient courtes ou longues, et l'éventuelle fertilisation organique de ces CIPAN, qui sont ciblées. Là également, de nombreuses années d'expérimentations sont à disposition. L'objectif de la mesure du RDD est une utopie pour les raisons évoquées dans le matrice AFOM : cette période est difficile à prédire car très dépendante de la pluviométrie, de la culture et du sol. Par conséquent, d'un point de vue logistique, il s'avère difficile d'organiser le planning d'échantillonnage au jour le jour. D'un point de vue qualitatif, la variabilité interannuelle et intra-saison serait de l'ordre de 10 à 40 kg N-NO₃/ha.

L'expérience des reliquats dans les bassins algues vertes confirme cette difficulté et le nécessaire recours à la modélisation pour intégrer la lixiviation possible de nitrate avant le prélèvement. Enfin, dans le cas d'un contrôle, il faut prévoir la possibilité d'une contestation et donc d'un deuxième contrôle, d'où la nécessité de disposer d'un référentiel évolutif au cours de l'automne.

Un extrait de l'avis remis à la Cour des Comptes (Evaluation de la politique publique de lutte contre la prolifération des algues vertes en Bretagne, janvier 2021) complète cet argumentaire (Annexe 2).

b. Autres méthodes mobilisables

• Les outils de raisonnement de la fertilisation azotée

Le bilan prévisionnel (CORPEN, 2006 ; COMIFER, 2011) et ses limites : cet outil et ces références sont conçues premièrement pour garantir un rendement optimal aux cultures et, seulement secondairement, pour limiter les pertes. Il se base sur des prévisions de rendement atteignable, de minéralisation du sol (améliorables à court terme en Bretagne via SOL'AID, (Morvan *et al.*, 2019), faites sur la base de moyennes et, en général, d'hypothèses relativement sécuritaires (issues des travaux des GREN) : elles résultent en des pertes potentielles pour une proportion non négligeable de situations, censées être corrigées au moins partiellement par les couverts intermédiaires, d'où l'intérêt de travailler à une meilleure couverture des sols en automne et en hiver. Le problème reste que la culture recevant majoritairement des apports excessifs est le maïs (et certaines cultures légumières), pour lequel l'implantation d'une telle couverture n'est pas toujours aisée.

En théorie et en première approximation, les fuites sont (1) faibles tant que les apports sont inférieurs aux capacités de prélèvement (besoins) de la culture et (2) proportionnelles aux apports ensuite. Dans la réalité, le lien entre les apports et les fuites est plus compliqué et cette relation peut être considérablement altérée si (1) les apports ont lieu trop tôt ou trop tard, si leur disponibilité n'est pas immédiate (fumiers), (2) le sol produit plus ou moins d'azote pendant la saison culturale (minéralisation basale ou arrières effets des apports organiques antérieurs ou des retournements de prairie), (3) certaines pratiques favorisent la réabsorption de l'azote (enfouissement de résidus de culture pauvres en azote, cultures intermédiaires, gestion adaptée des prairies...), (4) le climat est « atypique » (déficit ou excès d'eau important). De plus, si le sol est profond, ou bien si la lame d'eau drainante est faible, l'azote excédentaire ne sera pas entraîné en totalité et restera en partie dans le sol où il sera susceptible d'être réorganisé, stocké ou utilisé par les cultures suivantes, d'où l'importance de connaître l'azote minéral présent dans le sol en sortie d'hiver pour raisonner les apports.

En alternative à l'approche prévisionnelle et normative basée sur le bilan de masse, il existe de nombreux outils ou techniques permettant de juger de l'état nutritionnel de la culture en temps réel. Ces méthodes vont de techniques culturales particulières (bandes à double densité de semis par exemple), à des mesures d'état nutritionnel de la plante par analyse (ex. méthode Jubil, Justes *et al.*, 1997) ou par des capteurs plus ou moins éloignés permettant une accessibilité et une mise en œuvre de plus en plus aisée. L'application en recherche de ces méthodes a permis de montrer que des carences limitées, à certaines périodes, ne nuisaient pas au rendement, d'où des préconisations de fertilisation plus précises (ex. outil Appi'N, thèse C. Ravier, 2017). Une obligation à recourir à ces méthodes dans les cas problématiques, ou à forts enjeux environnementaux, pourrait être plus efficace et plus pédagogique que des sanctions ou des normes restrictives. Cela pré-suppose toutefois des systèmes de cultures permettant un fractionnement des apports et l'utilisation de fertilisants à disponibilité immédiate (ou *a minima* bien connue), ce qui n'est pas toujours le cas.

Notons enfin que dans le cas des prairies, notamment multispécifiques, il y a moins d'enjeux de raisonnement de la fertilisation (avec des approches un peu différentes de celles en cultures) et plus d'enjeux autour de (1) la gestion du pâturage, pour éviter les parcelles

trop chargées, en particulier en fin de saison de pâturage et les parcelles « parking », (2) la gestion des légumineuses « moteur azoté » et (3) la durée d'implantation des prairies, pour réduire la fréquence des situations de risques liés aux destructions, générant des flux d'azote importants (et le déstockage du carbone du sol).

- **La modélisation des flux d'azote et des risques d'émission**

Il existe de **nombreux modèles de cultures, de complexité variable, permettant d'estimer dynamiquement les stocks et flux d'azote**, sous leurs différentes formes, dans les parcelles agricoles. Récemment, ces modèles se sont attachés à mieux intégrer l'organisation de l'azote (transformation de N minéral en N organique), qui peut être importante en particulier sous prairies mais aussi possiblement sous cultures en automne (cf. travaux INRAE à Laon, Rennes, Clermont-Ferrand... avec les modèles PASIM et STICS). A terme, les nouvelles versions de ces modèles pourraient être utilisées pour générer à grande échelle des références d'émissions d'azote pour les diverses associations systèmes de cultures x pédoclimats. S'il est peu réaliste de préconiser l'utilisation de ces modèles complexes par les administrations ou les prescripteurs agricoles, il pourrait être envisagé de s'appuyer sur ces références pour mieux guider le conseil (voire fixer les normes ?).

Il existe par contre des **outils de modélisation spécialement conçus pour le diagnostic et le conseil**, notamment SYST'N, utilisé en accompagnement d'opérations de type captages Grenelle ou PLAV (Plan de Lutte contre les Algues Vertes). L'avantage de ce type d'outil est notamment de mieux identifier les causes des pertes azotées et de permettre de tester *ex ante* des changements permettant de les réduire. Là encore, cet outil est destiné à l'accompagnement, et non au contrôle.

Enfin, il existe aussi différents **outils d'aide à l'établissement du bilan prévisionnel**, notamment pour la détermination des postes les plus difficiles à estimer. L'exemple le mieux abouti est le dispositif SOL-AID, déployé en Bretagne et qui comporte un outil cartographique en ligne permettant d'estimer la minéralisation basale du sol en croisant le type de sol, le climat et l'histoire culturale et organique de la parcelle (Morvan *et al.*, 2019).

- **Les mesures spatialisées de concentrations nitriques dans les eaux**

Le développement de méthodes de mesures *in situ* des concentrations nitriques, de plus en plus fiables et précises, permet de réaliser des campagnes de mesures en de nombreux points, dans les réseaux hydrographiques, les sources, les puits, etc, en un temps réduit. Il pourrait être tentant d'utiliser cette méthode pour cibler des contrôles administratifs d'exploitations, voire des sanctions.

Cette méthode doit cependant être utilisée avec discernement, car :

- Il y a le plus souvent un décalage de plusieurs années entre les valeurs de concentration dans les cours d'eau ou les nappes et les pratiques agricoles (temps de séjour de l'eau, inertie du sol) et ce même en tête de bassin et en zone réputée « imperméable ».
- Lorsque le lien est plus direct (cas des collecteurs de drainage par exemple), les variations temporelles de concentrations sont souvent très fortes et très rapides, et une mesure ponctuelle dans le temps est difficilement interprétable sans avoir un débit associé.

- Les chemins de l'eau sont parfois complexes, rendant difficile la mise en correspondance spatiale entre une exploitation et un point du réseau hydrographique ou un forage.
- On peut limiter ce dernier risque en se plaçant plus à l'aval, donc en intégrant de plus grandes surfaces, mais dans ce cas une exploitation aux pratiques aberrantes, isolée dans un bassin versant, échappera à la détection.

Il importe donc, finalement, de **promouvoir une gestion intégrée de l'azote, et une évaluation multicritères en intégrant le pilotage de la fertilisation et des pratiques culturales adaptées à l'échelle de la rotation, du système de cultures, et, *in fine*, du système de production.**

3. Conclusions

Les principaux atouts et limites des indicateurs étudiés ne permettent **pas de conclure par la proposition d'un indicateur unique simple, fiable, pertinent, accepté par l'ensemble des partenaires** (en particulier les agriculteurs, les collectivités territoriales et les agences), **peu coûteux** (en temps de renseignement ou en prix) **et mobilisable dans la réglementation « Nitrate » avec un seuil maximal.**

On peut noter que la gestion de la fertilisation s'est largement améliorée, avec une forte mobilisation du conseil et de la recherche et un engagement d'une large majorité d'agriculteurs, en particulier en Bretagne avec la problématique des algues vertes. Le **principal sujet est peut-être dans l'accompagnement** (dossier 9) : se réapproprier le raisonnement de la fertilisation sur chaque culture (sur chaque parcelle) est important, alors que le côté réglementaire des plans prévisionnels de fumure (PPF) a souvent abouti à la délégation de ces documents à des prestataires. La question peut se poser différemment en zones d'élevage et en zones de grandes cultures, les éleveurs déléguant plus souvent la conduite de leurs cultures à des entreprises agricoles et l'ajustement de la fertilisation étant plus difficile avec des effluents organiques qu'avec de l'azote minéral. L'augmentation du prix de ce dernier évoquée pour la loi Climat, allant dans le sens d'une internalisation des impacts environnementaux liés à sa fabrication et son apport (par ex. les émissions de N₂O) n'a pas été retenue.

Egalement en lien avec le dossier 9, mesurer des reliquats et analyser les résultats grâce à l'enregistrement des pratiques et à des simulations de la minéralisation N (SOL-AID par ex.) permettrait d'accompagner les agriculteurs pour s'approprier les enjeux et connaissances de flux non 'visibles'. Cet indicateur à la parcelle est pertinent mais l'analyse est chronophage. Que doit-on associer à un indicateur pour que sa mise en œuvre soit pertinente ?

On a vu que, s'il est **important de détecter les pratiques de surfertilisation**, il est au moins aussi important d'en comprendre les causes : aversion aux risques (et références GREN plutôt « souples », gestion des produits résiduels organiques (PRO), exigences des filières, accidents de cultures dont l'occurrence peut augmenter avec celle des aléas climatiques, objectifs de rendements trop optimistes...), ainsi que les pistes de solutions : passer de la fixation d'objectifs de rendements à la gestion dynamique avec des ajustements en cours de culture, une aide au diagnostic de l'état de nutrition (outils de télédétection, analyseurs infra-rouge...), une meilleure connaissance des apports par

minéralisation du sol (par exemple outil SOL-AID), de la composition et de la minéralisation des effluents organiques...

Un autre élément est la relation peu étroite entre excédent de bilan et pertes par lixiviation due à l'importance des couverts automnaux/hivernaux (et du climat hivernal) pour « récupérer » au maximum les excédents d'azote et la minéralisation du sol pendant la période de drainage, notamment par les CIPAN efficaces même sur une interculture courte. Là aussi, les nouveaux outils (images satellitaires par exemple) peuvent aider à suivre l'état de développement des couverts et à mieux comprendre les clés de leur bon développement (en complément des observations directes indispensables pour aider à interpréter les données de télédétection mais plus lourdes et coûteuses à mettre en œuvre).

4. **Recommandations** sur les suites à donner à cette analyse

Dans un objectif de réduction ou de suppression des sur-fertilisations et des pertes azotées en résultant, le CST recommande de **définir et mettre œuvre des dispositifs associant des indicateurs et/ou des modèles et/ou d'autres méthodes, alternativement à l'utilisation de l'unique indicateur BGA**. Quel que soit le dispositif retenu, il serait - dans tous les cas - extrêmement **utile de disposer d'un système d'information permettant le recueil et le croisement des données de pratiques et de flux d'azote**, tel qu'il existe dans d'autres pays, afin de pouvoir calculer une batterie d'indicateurs, voire de faire tourner des modèles. Ce pourrait être un outil de type déclaration des flux d'azote (DFA), à condition d'y rajouter les autres intrants azotés, et notamment les aliments concentrés.

Le CST recommande de **prolonger cette première analyse** par une étude visant à :

1) **approfondir l'analyse et les conditions de bonne utilisation des indicateurs et des méthodes pertinentes**, et surtout :

2) **proposer des associations de dispositifs alternatifs à la BGA** (association d'un ou plusieurs indicateurs, avec d'autres méthodes tel que des modélisations ou des mesures spatialisées) ; ces associations de dispositifs pourront varier en fonction des **spécificités régionales/territoriales** ; l'objectif sera de proposer *in fine* des **recommandations pertinentes pour la mise en œuvre/utilisation de ces associations de dispositifs par les acteurs de terrain et l'accompagnement/formation** des acteurs à cette mise en œuvre/utilisation.

3) cette étude devra intégrer les éventuels effets pervers de certains indicateurs, comme le montre l'accaparement de terres lointaines qui ne sont en réalité pas utilisées pour l'épandage. De même, si une des solutions analysées peut être de renforcer les contrôles pour identifier les sources de pollution, certains aspects qui sortent du champ d'analyse du CST devraient être intégrés tel :

- les aspects juridiques : qu'est-il possible de faire légalement ?
- les aspects techniques : quelles sont les modalités de contrôle les plus efficaces et les ressources humaines disponibles ?

Plus largement, le CST considère que l'enjeu principal dans la lutte contre les pertes azotées est autant la **détection des sur-fertilisations**, qu'elles soient volontaires ou non, que **l'adhésion de l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur** (agriculteurs, filières amont et aval, voire système alimentaire dans son ensemble) **à des systèmes de**

production plus efficaces en azote, ce qui passe par une analyse objective et sans a priori des freins et des leviers à cette nécessaire transition.

Références citées dans le document

Carof M., Godinot O. (2018). A free online tool to calculate three nitrogen-related indicators for farming systems. *Agricultural Systems*, 162, 28-33.

CORPEN (2006). Des indicateurs AZOTE pour gérer des actions de maîtrise des pollutions à l'échelle de la parcelle, de l'exploitation et du territoire, 112 p.

COMIFER (2011, actualisé 2013). Calcul de la fertilisation azotée. Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales : Cultures annuelles et prairies ; Groupe Azote du Comifer, 87 pp, <https://comifer.asso.fr/fr/publications/les-brochures.html> Godinot O., Vertès F., Leterme P., Carof M. (2020). Nouveaux indicateurs d'efficacité de l'azote à l'échelle de l'exploitation. *Fourrages*, 241, 45-56.

Justes E., Meynard J.M., Mary B., Plénet D. (1997). Diagnosis using stem base extract: JUBIL method. In « Diagnosis of the nitrogen status in crops », (Lemaire G., Ed.), Springer-Verlag, Berlin, 163-187.

Löw P., Osterburg B., Klages S. (2021). Comparison of regulatory approaches for determining application limits for nitrogen fertilizer use in Germany, 2021, *Environmental Research Letter*, 16, 055009.

Morvan T. (2019). http://geowww.agrocampus-ouest.fr/web/?page_id=2804

Parnaudeau, V.; Reau, R.; Dubrulle, P. (2012). Un outil d'évaluation des fuites d'azote vers l'environnement à l'échelle du système de culture: le logiciel Syst'N *Innovations Agronomiques*, 21, 59-70.

Ravier C. (2017). Conception innovante d'une méthode de fertilisation azotée : Articulation entredagnostic des usages, ateliers participatifs et modélisation. *Sciences agricoles*. Université Paris-Saclay, 2017. NNT : 2017SACLA005. tel-02059334. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02059334>

Annexe 1 :

Ensemble des tableaux AFOM (Atouts, Faiblesses, Opportunités, Menaces) sur les indicateurs et méthodes (quelques exemples en référence)

Les bilans

<p>Indicateur : Balance globale azotée BGA</p>	<p>Réf: avis Genem BGA fév 2019</p>
<p>Atouts</p> <ul style="list-style-type: none"> - Indicateur de pression N, calculé sur les données de chaque exploitation - Relié aux plans de fertilisation, - Concept simple d'un bilan sol - Permet de détecter des anomalies potentielles de fertilisation 	<p>Faiblesses</p> <ul style="list-style-type: none"> - Donne une valeur «moyenne exploitation» pas forcément indicatrice de risque - Difficile de finaliser un outil de calcul - Difficile à contrôler - intègre peu/pas le piégeage hivernal, peut pénaliser des pratiques vertueuses - N'intègre généralement pas la variabilité d'efficacité dans la gestion des troupeau et des effluents - Peu indicatrice des risques de fuites N
<p>Opportunités</p> <ul style="list-style-type: none"> - Outil Directive Nitrate / contentieux - Utilisé depuis longtemps (Bascule 1992) - 	<p>Menaces</p> <ul style="list-style-type: none"> - La fixation d'un seuil légal (50 kg/ha) génère le rejet - Indicateur non adapté à l'objectif

<p>Indicateur : Bilan apparent</p>	<p>Réf: Simon et al., 1992</p>
<p>Atouts</p> <ul style="list-style-type: none"> - Simple et robuste (données compta) - Indicateur de pression N globale - Permet de comparer des systèmes analogues (un peu de diagnostic) - Applicable aux différents ateliers (bilan troupeau, bilan sols-plantes) - Intègre bien les effets système 	<p>Faiblesses</p> <ul style="list-style-type: none"> - Accès aux données - Poste fixation moins fiable - Devenir de l'excédent ? (modèles) et possibilités de diagnostic limitée - n'intègre pas les évolutions N sol - Ne présage pas de bonnes pratiques parcelles ; - peut ignorer pratiques vertueuses (Cult interm. piège à nitrates CIPAN) - difficultés avec GAEC?
<p>Opportunités</p> <ul style="list-style-type: none"> - Intérêt dans le cadre des PSE , (facile à calculer ; preuve de progrès) - Donne une grande latitude aux exploitants pour s'améliorer 	<p>Menaces</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rejet par profession, en particulier les éleveurs de granivores - -

Avis du Comité scientifique et technique
« Gestion des éléments nutritifs et des émissions vers les milieux »

Indicateurs : SyNB (et SyNE)	Réf: Godinot et al., 2020 (synthèse dans Fourrages 241, précédents articles cités)
Atouts <ul style="list-style-type: none"> - Approche système - rajoute la prise en compte des impacts liés au N importé (Analyse Cycle de Vie) - Intègre l'évolution du N sol (AMG) - Associé avec calculs d'efficacité d'utilisation N (SyNE) et efficacité relative (RNE) → diagnostic 	Faiblesses <ul style="list-style-type: none"> - Accès aux données (perspectives PSE ?) - Évolution N sol perfectible (attente d'un métamodèle – qq mois, projet CarSolEI) - Prise en compte des effluents exportés (produit vs déchet ?)
Opportunités <ul style="list-style-type: none"> - Un calculateur disponible en ligne (adaptable/ modules) - Donne une grande latitude aux exploitants pour s'améliorer 	Menaces <ul style="list-style-type: none"> - acceptabilité ? - outil encore peu connu et peu utilisé ? -

Les indicateurs N sol : les reliquats

Indicateur : Reliquats N sols (RPA et RDD)	Réf: note Morvan 2019 et réponse à la cour des comptes / PLAV2 2019
Atouts <ul style="list-style-type: none"> - Les RDD indiquent le risque de lixiviation nitrate des parcelles mesurées → fournit références / culture * SdC * pédoclimat - Les RPA en partie indicateurs de pratiques fertilisation - Ils permettent de mesurer du N invisible, intérêt 'sensibilisation' - Indicateur de résultat (laisse le choix des moyens) 	Faiblesses <ul style="list-style-type: none"> - Le moment pertinent pour RDD est court et difficile à prédire en ferme - Nécessite un référentiel - Contrôle → prévoir les recours/contestations - La robustesse du lien entre pratiques de fertilisation et RDD varie fortement entre cultures, années
Opportunités <ul style="list-style-type: none"> - Ont permis de comprendre l'effet de la surfertilisation sur les reliquats et pertes (stations expé) - Financé dans BV Algues vertes → un réseau de référence bien conçu est utile, adaptation locale 	Menaces <ul style="list-style-type: none"> - La fixation d'un seuil (cf NL, B) - Coût élevé et rapport bénéfice/coût discuté; - « logistique » laboratoire - Problèmes de prélèvements RPA (sol sec ou détrempe), d'échantillonnage,

Les indicateurs se rapportant à l'ajustement /la valorisation de la fertilisation

<p>Gestion/méthodes SdC : ex démarche Appi'N en culture, raisonnement des SdC, bandes double densité...</p>	<p>Réf: cf RMT systèmes innovants, RMT fertilisation,</p>
<p>Atouts</p> <ul style="list-style-type: none"> - Piloter la fertilisation en dynamique / besoins des plantes (vs Corpen-GREN = assurer rendement - Gagner en 'technicité', en compétences pour diversifier productions et améliorer efficacité N et stockage C 	<p>Faiblesses</p> <ul style="list-style-type: none"> - Valable surtout en zones de grandes cultures (ferti minérale plus facile à gérer que organique) - cf agriculteurs ? Temps ? Formation ? - usage réglementaire peu imaginable
<p>Opportunités</p> <ul style="list-style-type: none"> - Connaissances synthétisées RMT Fertilisation - Développement du diagnostic télédétection - Développement des techniques de précision - Compréhensible et acceptable par l'agriculteur 	<p>Menaces</p> <ul style="list-style-type: none"> - Agrandissement des exploitations : moins de temps pour observer, mesurer - Coûts équipement ou données/diagnostic

<p>Gestion/méthodes SdC: bonne valorisation prairies, pérennisation Prairies Temporaires (> 5ans)</p>	<p>Réf: fiches et ouvrage RMT Prairies demain 2018, fiches CIVAM PERPeT 2020</p>
<p>Atouts</p> <ul style="list-style-type: none"> - Meilleure production à mêmes intrants - Meilleur bouclage des cycles CN - Gagner en 'technicité', en compétences (bonne valorisation des prairies) - 	<p>Faiblesses</p> <ul style="list-style-type: none"> - Intensification production / VL - Intérêt des éleveurs, filières, compétences - Traduction réglementaire: durée minimale de prairie?
<p>Opportunités</p> <ul style="list-style-type: none"> - Démarches agroécologiques, AB, augmenter place des prairies dans syst fourrager (et SES liés régulation, support, biodiv) - ↗ Groupes pâturage, conseil - 	<p>Menaces</p> <ul style="list-style-type: none"> - Agrandissement des cheptels, des exploitations - Aléas climatiques - Manque d'enseignement adapté - Attention aux effets pervers si usage réglementaire (cf interdiction retournement PP)

Les modèles de prédiction des émissions de nitrate

Modèles: modèle de culture ou modèle de lixiviation (STICS, LIXIM, PASIM, CERES...)	Réf: Brisson et al, 1998 ; Graux et al 2020 ;
<p>Atouts</p> <ul style="list-style-type: none"> - estimation effective de la lixiviation, voire des autres émissions - paramétrisation disponible pour de nombreuses situations 	<p>Faiblesses</p> <ul style="list-style-type: none"> - Expertise nécessaire - quantité de données nécessaires - erreurs de simulations peu contrôlables - faible ergonomie - usage réglementaire peu envisageable: « juge de paix »? - <i>approche parcelle x culture plutôt de SDC</i> - situations/cultures non paramétrées
<p>Opportunités</p> <ul style="list-style-type: none"> - utilisations France entière se multiplient - Évolution 'rapide' des versions recherche (Stics et Pasim) - données sols et climat, voire pratiques, largement disponibles - métamodélisation? (<i>ex. en cours pour C</i>) 	<p>Menaces</p> <ul style="list-style-type: none"> - appropriation, acceptabilité - formation

Modèle : outil Syst’N	Réf:Parnaudeau et al., 2012, Inn. Agr, 21, 59– 70
<p>Atouts</p> <ul style="list-style-type: none"> - approche rotation, Systèmes de Cultures - ergonomie - club des utilisateurs, bases de données de simulations, paramétrages par défaut - flexibilité d’utilisation - estimation de lixiviation et pertes gazeuses 	<p>Faiblesses</p> <ul style="list-style-type: none"> - Expertise nécessaire - données nécessaires - erreurs de simulation possibles - usage réglementaire peu envisageable - Situations et/ou cultures non paramétrées
<p>-Opportunités</p> <ul style="list-style-type: none"> - bases de données sols, climat, pratiques - en constant développement - 	<p>Menaces</p> <ul style="list-style-type: none"> - acceptabilité, appropriation - pas généralisé

Avis du Comité scientifique et technique
« Gestion des éléments nutritifs et des émissions vers les milieux »

<p>Indicateur : serious games « exploitations »</p>	<p>Ex. Engele (RMT Elev Env), SEGAE (Jouan et al 2021)</p>
<p>Atouts</p> <ul style="list-style-type: none"> - approche système, permet d'illustrer les liens entre pratiques et flux - ergonomie, aspect ludique - fourni une gamme d'indicateurs de performances - permet de simuler l'effet de scénarios 	<p>Faiblesses</p> <ul style="list-style-type: none"> - Simulateurs souvent très simplifiés - ->résultats plutôt qualitatifs - Soit outils ad'hoc co-construits (lourdeur, expertise) soit outils génériques souvent en développement et pas applicables à toute situation - Usage réglementaire peu envisageable
<p>- Opportunités</p> <ul style="list-style-type: none"> - bases de données sols, climat, pratiques - méthodologie type Commod bien rodée - 	<p>Menaces</p> <ul style="list-style-type: none"> - acceptabilité, appropriation - pas généralisable

Annexe 2 : Extraits de l'avis remis à la Cour des Comptes par le Centre de Ressources et d'Expertise Scientifique sur l'Eau de Bretagne (CRESEB) 'Evaluation de la politique publique de lutte contre la prolifération des algues vertes en Bretagne', janvier 2021)

Q6. Quelle est votre appréciation sur la fiabilité de cet outil ?

Q7. A quelles conditions de mises en œuvre les reliquats sont-ils fiables et utilisables ?

Les **difficultés pratiques de mise en œuvre** de ces mesures peuvent être plus ou moins grandes selon les années, le type de reliquat mesuré, la culture, et le nombre de parcelles à mesurer :

- problème majeur : nécessité d'échantillonner l'ensemble du sol exploitable par les racines (0,8-1 m) en particulier pour les reliquats début drainage (RDD), N min peut avoir déjà migré au-delà de 60 cm.
- mesure fiable implique de collecter plusieurs échantillons par parcelle et par profondeur et l'inter-comparaison entre prestataires (préleveurs et laboratoires d'analyses).
- **Quand ?** Les reliquats post-absorption (RPA) a priori les mieux adaptés pour porter un diagnostic des pratiques de fertilisation car inaptitude actuelle des modèles à simuler la minéralisation automnale (flush de minéralisation alternant avec des phases d'organisation de l'azote très mal simulés) --> relation entre pratiques de fertilisation et RDD peu fiable.

- Date de début de drainage varie de mi-sept à mi-janv → programmation de grandes campagnes d'échantillonnage problématique (dont force de travail limitée).
- A l'inverse, fenêtres temporelles pour les RPA étroites (juin à fin juillet pour céréales, juillet pour le colza, fin août/septembre pour maïs) → sécheresse des sols peut rendre difficile, voire impossible, un échantillonnage de bonne qualité sur l'ensemble de la profondeur du sol.
- De plus, les RPA, au contraire des RDD, ne donnent pas d'information valable sur le risque de lixiviation et ne permettent pas de juger de l'efficacité des CI éventuels → ces 2 mesures sont complémentaires et, en les associant, elles permettent de mieux comprendre la situation.

Interpréter : Toutes les expériences opérationnelles soulignent le caractère indispensable de disposer de références de bonne qualité et en nombre suffisant afin de pouvoir interpréter les résultats en prenant en compte les variations interannuelles et spatiales (notes T. Morvan).

En l'absence de parcelles de références, les résultats de mesures de reliquats doivent faire l'objet d'une discussion avec un conseiller/animateur BV et être mobilisés dans le cadre d'un dispositif collectif impliquant les agriculteurs avec une animation forte, sur un territoire délimité, ce qui permet de pouvoir mettre en perspectives les parcelles et systèmes qui ont des reliquats faibles et forts la même année et d'en discuter les déterminants stratégiques (relatives au système de production ou de culture) et les causes liées à l'année (pratique X climat).

Q8 : Marge d'erreur (en %) sur N min sol ?

- En bonnes conditions, elle peut être de l'ordre de 20% pour la mesure, elle augmente si les parcelles sont hétérogènes, caillouteuses, et/ou fertilisées avec des PRO dont l'application uniforme est difficile, et en sols secs ou au contraire en sols hydromorphes, avec des difficultés de prélèvement dans les 2 cas..
- Rajouter erreurs d'interprétation possibles si on doit juger de la conformité à une norme fixe.

Q9 : Intérêt de cet outil pour mener une politique publique ?

Avantages :

- Une façon d'approcher le résultat concret d'un ensemble de pratiques en termes de risque de pollution → bon outil de sensibilisation et de pédagogie, si on s'est donné les moyens d'interpréter, assorti d'un véritable dialogue avec exploitant ou un groupe d'exploitants (cf ci-dessus). Utile pour montrer une capacité à contrôler de mauvaises pratiques et intervenir ainsi en seconde étape d'une procédure de remise en conformité d'un exploitant récalcitrant.

Avis du Comité scientifique et technique
« Gestion des éléments nutritifs et des émissions vers les milieux »

- Un réseau bien conçu (diversité de conditions pédo-climatiques et agronomiques) de parcelles de référence suivies sur plusieurs années, avec enregistrement des pratiques et mesures successives de RPA/RDD serait aussi tout à fait utile à la fois pour l'interprétation de mesures plus ponctuelles, pour le repérage et la correction de pratiques pouvant engendrer des risques malgré une conformité à la réglementation ou à ce qui est considéré comme « bonnes pratiques ».

Doute/limite : est-il utile de maintenir de vastes campagnes plus ou moins « à l'aveugle » ? du fait à la fois des difficultés pratiques, du coût, de l'absence de réel dialogue avec les exploitants, et du faible intérêt pour le repérage et la correction de situations problématiques.