



MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA SOUVERAINETÉ
ALIMENTAIRE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Guide pour la maîtrise des fuites de nitrates vers les eaux : réaliser et exploiter les reliquats d'entrée hiver (REH)



Remerciements

Ce guide a été élaboré sur la base des retours d'expérience d'une communauté d'experts constituée de représentant·e·s de la direction de l'eau et de la biodiversité du ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires, représentant·e·s de DRAAF et DREAL Bretagne, Claudine Ferrané (Centre de Ressource Captages, UMR Agronomie INRAE-AgroParisTech), Jérôme Ratiarson (Agence de l'eau Seine-Normandie), David Leduc (Chambre régionale d'agriculture des Pays de la Loire), Noémie Termeau (Chambres d'agriculture France), Marine Gratecap (Ceresco), François Servain (Gemmas), Mathilde Heurtaux (Acta), Florine Nataf (Eau de Paris), Marion Delesalle (RMT bouclage). Merci pour l'expertise et le regard critique apporté par cette communauté de travail.

Un grand merci enfin à Noémie Polyn, cheville ouvrière de ce projet, en stage de mai à août 2022 au sein du bureau eau, sols et économie circulaire de la direction générale de la performance économique et environnementale des entreprises du ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire.

Direction générale de la performance économique
et environnementale des entreprises (DGPE)

Février 2023

Table des matières

Introduction	5
Pour commencer sur le REH	6
1. Qu'est-ce qu'un REH ?	6
2. REH & politiques publiques.....	7
Une impulsion européenne pour réduire les pertes d'azote dans l'environnement	7
Le REH, un indicateur mobilisé au sein de politiques publiques de prévention des pollutions diffuses.....	8
Pour aller plus loin sur le REH et les politiques publiques	10
Le REH dans la réglementation.....	10
Le REH dans les documents de planification dans le domaine de l'eau.....	12
Le REH au sein des dispositifs incitatifs de suivi.....	12
Fiche 1. Pourquoi utiliser le REH dans les démarche par objectif de résultat ?.....	15
1. La nécessité d'évaluer les flux d'azote vers les milieux.....	15
2. La nécessité de préciser la connaissance sur la gestion de l'azote au sein d'un territoire	15
Fiche 2. Comment réaliser un REH dans une démarche territoriale par objectif de résultat ?	17
1. Où prélever un REH ?.....	17
Comment choisir les parcelles à prélever ?.....	17
Où prélever dans la parcelle ?	18
2. Quand prélever un REH ?	19
Les contraintes rencontrées par les laboratoires d'analyse.....	19
Déterminer le début de la campagne de prélèvement.....	20
Fenêtre de prélèvement.....	21
4. Quelles conditions de réussite ?	23
Anticiper les chantiers de prélèvements et l'analyse des mesures de REH.....	23
S'assurer de l'exploitabilité des résultats.....	24
Fiche 3. Comment établir un objectif de REH ?	27
1. Comment définir un objectif de REH ?.....	27
Dans quel objectif mobiliser le REH ?	27
Qui doit définir cet ou ces objectif(s) ?.....	27
Comment définir l'objectif de REH ?	28
2. À quelle échelle spatiale raisonner ?.....	33

3. À quelle échelle temporelle raisonner ?	34
Pour aller plus loin sur le modèle de Burns.....	36
L'équation du modèle de Burns	36
Exemples d'utilisation du modèle de Burns	36
Fiche 4. Comment organiser le suivi des indicateurs et l'atteintes des objectifs ?.....	37
1. Capitalisation des données.....	37
Comment construire la base de données ?.....	37
Les indicateurs intéressants à associer au REH.....	38
2. Quelle valorisation et quel accompagnement du REH auprès des agriculteurs ?	39
La nécessité de l'animation autour du REH.....	40
Suivi annuel du REH auprès des agriculteurs	41
3. Les moyens nécessaires au suivi de la démarche.....	43
Moyens humains.....	43
Moyens financiers.....	43

Introduction

Le développement des approches par objectifs de résultats, en terme de réduction des fuites de nitrates vers le milieu, a conduit à une mobilisation accrue des indicateurs de reliquats d'azote minéral dans le sol, notamment les reliquats entrée d'hiver (REH), au sein de différents dispositifs publics. La réglementation « nitrates » (programmes d'actions national et régionaux), les instruments de la Politique Agricole Commune (PAC), et notamment les Mesures Agro-environnementales et Climatiques (MAEC), et les démarches expérimentales de gestion de l'azote par objectifs de résultats (Innov'Azote) ont, en particulier, recours à cet indicateur.

Le développement de ces démarches, associé à la nécessité d'accompagner les opérateurs de territoire dans une meilleure compréhension de la dynamique de l'azote, a motivé l'élaboration de ce guide.

Ce document s'adresse à l'ensemble des acteurs mobilisant ou souhaitant mobiliser le REH au sein de démarches territoriales. Il s'appuie de manière synthétique, non exhaustive, sur la bibliographie scientifique et technique existante.

Le guide soulève des questionnements clefs, propose des pistes pour la mise en œuvre de démarches déployant le REH comme indicateur et conseille des points d'approfondissement. Le guide porte une attention particulière à la mobilisation du REH au sein des MAEC.

Afin d'en assurer l'opérationnalité, l'élaboration de ce document piloté par la Direction générale de la performance économique et environnementale des entreprises du ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire, s'est appuyée sur une communauté d'experts sur le REH et sur les démarches territoriales utilisant cet indicateur. Ce guide sera amené à évoluer au fil des retours d'expérience et du développement de la connaissance.

Pour commencer sur le REH

1. Qu'est-ce qu'un REH ?

Le reliquat azoté entrée hiver (REH) est un indicateur de la quantité d'azote minéral potentiellement lixiviable. Il désigne la quantité d'azote minéral présente dans le sol d'une parcelle à l'entrée de la période de drainage, au moment où la capacité de rétention en eau du sol redevient saturée. Ce moment intervient généralement en automne.

Le REH est un bon indicateur des risques de pertes d'azote par lixiviation ¹. Sa valeur résulte de plusieurs facteurs en interaction : les pratiques agricoles (conduite de la culture précédemment récoltée, conduite de l'interculture, fertilisation azotée, rotation des cultures...), les processus de minéralisation et d'organisation² à l'œuvre dans les sols, et les conditions pédoclimatiques qui influent en partie sur la minéralisation de l'azote dans les sols.

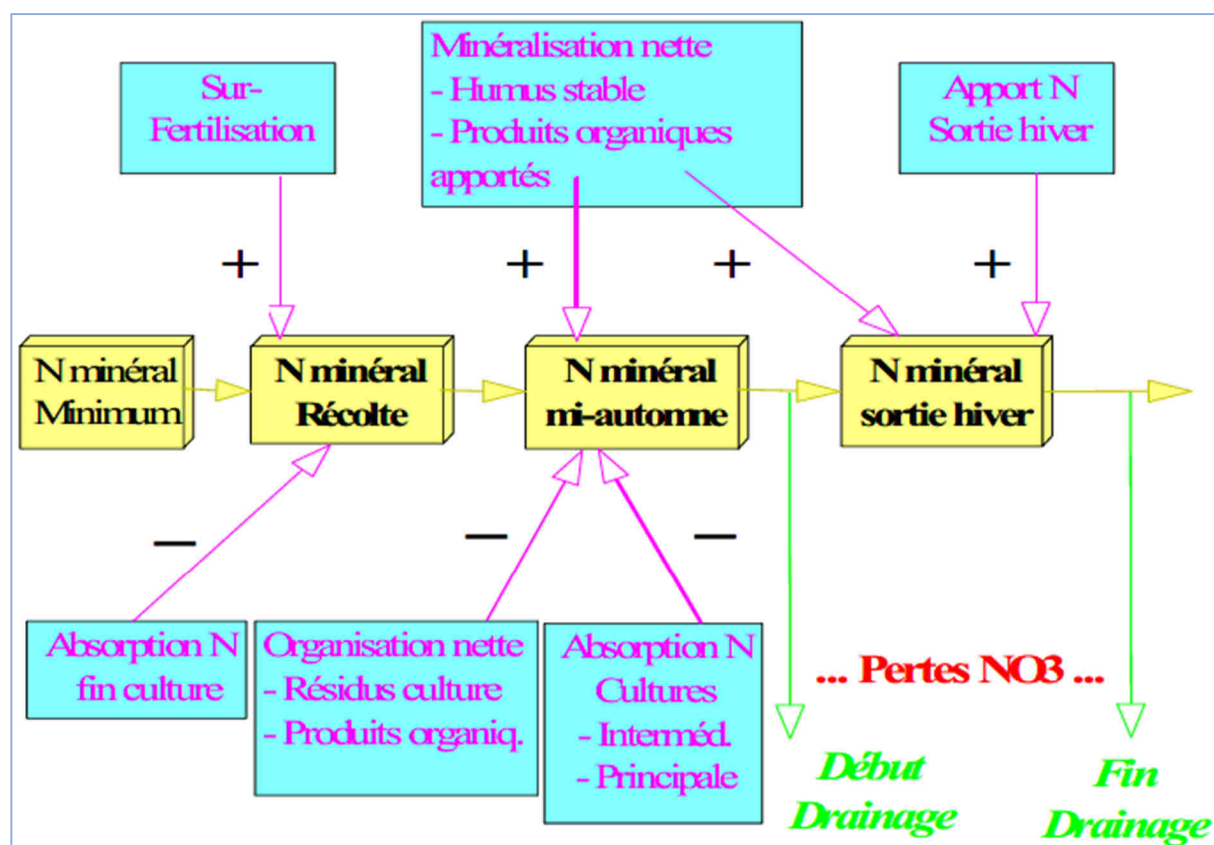


Figure 1 : Compartiments de l'azote minéral du sol en jeu depuis la récolte jusqu'à la fin du drainage (Comifer, 2002)

¹ La lixiviation correspond à l'entraînement vertical par les précipitations des solutés présentés dans l'eau du sol. Par abus de langage, on parle couramment de lessivage.

² L'organisation microbienne est la transformation de l'azote minéral en matière organique. On parle également d'immobilisation ou d'assimilation microbiennes.

À l'aide de modèles et sur la base de la connaissance de certains paramètres tels que la lame d'eau drainante³, le REH est une variable d'entrée pour estimer les pertes d'azote par lixiviation au cours de la période de drainage. De ce fait, on considère que le REH est un indicateur pertinent pour évaluer les risques de pollution de l'eau par les nitrates.



Le **REH** est également connu sous le nom de **reliquat début drainage** (RDD) ou encore **azote potentiellement lessivable** (APL).

2. REH & politiques publiques

Le REH est un indicateur de plus en plus utilisé dans le cadre des politiques publiques visant à prévenir les pollutions diffuses de l'eau par les nitrates et plus généralement réduire les pertes d'azote dans l'environnement.

Une impulsion européenne pour réduire les pertes d'azote dans l'environnement



La **Directive eau potable**¹ fixe la limite de qualité pour les nitrates dans l'eau distribuée à 50 mg/L. L'obligation de résultat en matière de prévention des pollutions diffuses de l'eau par les nitrates répond donc également à des exigences sanitaires.

La mobilisation croissante du REH s'inscrit dans un contexte européen visant à réduire les émissions d'azote vers les milieux aquatiques. Compte tenu de la pollution des eaux de surface et des eaux souterraines, la **Directive « Nitrates »** (DN) publiée en 1991 par l'Union Européenne vient fixer comme objectif « de réduire la pollution provoquée ou induite par les nitrates à partir de sources agricoles » et de « prévenir les pollutions de ce type ». Elle est renforcée en 2000 par la **Directive Cadre sur l'Eau** (DCE) qui donne aux États membres une obligation de résultat quant à l'atteinte du bon état des masses d'eau et à l'absence de dégradation de leur état, impliquant entre autres de réduire la pollution de l'eau par les nitrates.

Par ailleurs, le Pacte vert européen a récemment acté la stratégie « de la Ferme à la Table », qui vise à renforcer un système alimentaire « sain et respectueux de l'environnement » et comporte un volet visant à réduire de moitié les pertes de nutriments d'ici 2030, notamment en azote. Annoncé par les stratégies européennes « de la ferme à la table » et « biodiversité », un plan de gestion intégrée des nutriments visant l'atteinte de cet objectif de réduction des pertes de nutriments est en préparation en 2022 par la Commission européenne.

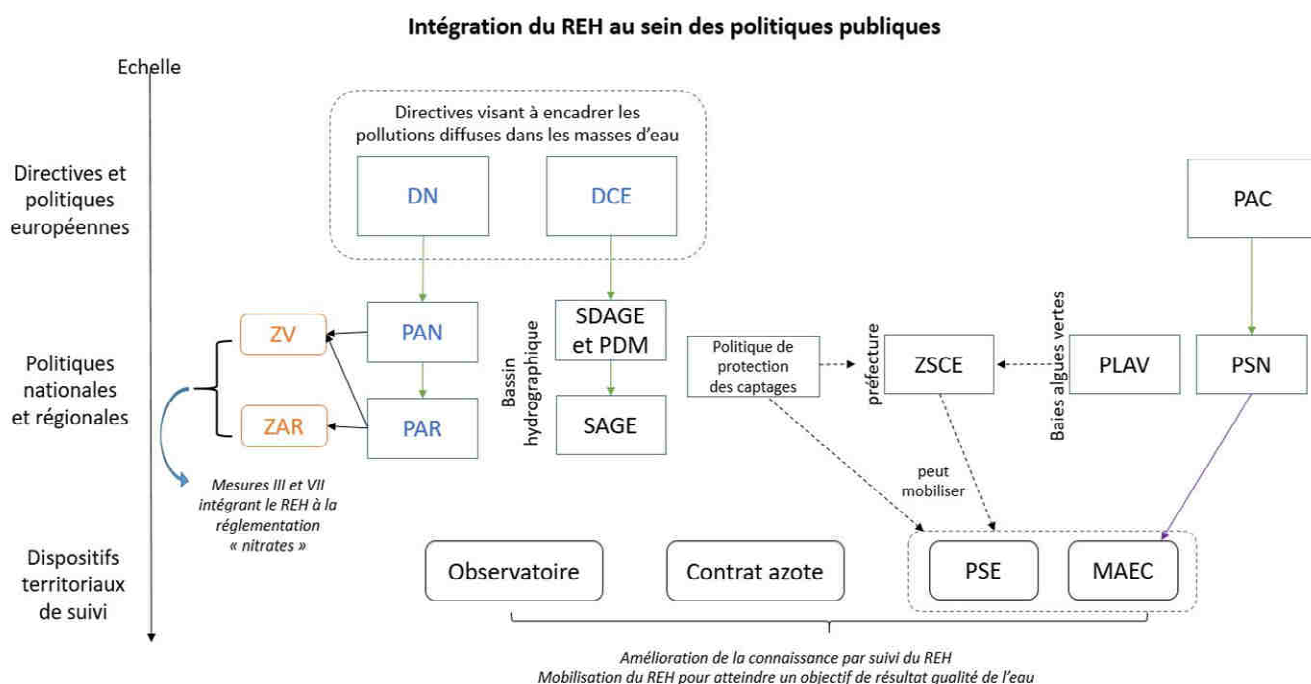
³ Quantité d'eau percolée au-delà de la profondeur exploitée par les racines. Elle varie en fonction du type de sol, de l'occupation du sol et du cumul des pluies.

Le REH, un indicateur mobilisé au sein de politiques publiques de prévention des pollutions diffuses

Le REH est utilisé comme indicateur dans le cadre de plusieurs politiques de prévention des pollutions diffuses en particulier au sein de la transposition de la directive nitrates, de la politique de lutte contre la prolifération des algues vertes, et des démarches de protection des aires d'alimentation de captages.

Il peut être mobilisé :

- ✓ **De manière obligatoire ou volontaire :**
 - Les REH, RDD et RPR peuvent être rendus obligatoires par les programmes d'actions « nitrates », en zone vulnérable. En effet, les REH ou RPR peuvent être imposés dans le cadre de la mesure relative à l'équilibre de la fertilisation azotée. De plus, le RDD ou le RPR sont imposés pour des situations d'interculture sur lesquelles la couverture des sols n'est pas assurée, en application des adaptations régionales au principe général de la couverture des sols. Enfin, les reliquats azotés sont imposés dans certaines situations d'épandage de fertilisants azotés en automne ou en hiver.
 - Le REH est utilisé au sein de démarches volontaires de préservation des captages d'eau potable, ou d'observatoires de reliquats azotés ;
- ✓ De manière à **assurer un suivi territorial** (observatoires de reliquats), à **intégrer une démarche de gestion de l'azote par objectif de résultats** (PSE, MAEC, Contrat azote, Innov'azote) ou à **des fins de gestion** (par exemple, suivi de l'impact des dispositions d'adaptation aux obligations de couverture des sols en interculture dans le cadre de la réglementation « nitrates »).



➔ Pour aller plus loin, consulter l'encart dédié

REH & politiques publiques : exemples

❖ PROTECT'eau en Wallonie

En Belgique, la province wallonne a décidé d'imposer un encadrement strict aux agriculteurs concernant la qualité de l'eau, notamment en terme de risques de pollution par les nitrates. La structure PROTECT'eau, encadrée par le Programme de gestion durable de l'azote (PGDA), définit un objectif de REH pour les exploitations possédant plus de 20% de leur surface en zone vulnérable. En fonction de la culture en place, un seuil de conformité de REH est fixé. Ce seuil est défini en fonction du contexte propre à l'année à partir d'un réseau de fermes de référence. Si lors du contrôle, ce seuil est dépassé pour plus d'une des trois parcelles contrôlées, l'exploitation est déclarée non conforme. En parallèle, PROTECT'eau propose un encadrement de la fertilisation azotée grâce à des conseils fondés sur le suivi de REH.

Pour aller plus loin sur le REH et les politiques publiques

Le REH dans la réglementation

- Réglementation « nitrates »

La directive 91/676/CEE dite directive « nitrates » est traduite au niveau national notamment par la désignation de **zones vulnérables** (ZV) « nitrates », et par la définition de mesures s'appliquant aux exploitations en zones vulnérables. Ces mesures sont inscrites dans le **programme d'actions**, qui est constitué d'une part d'un socle national défini par un arrêté interministériel, le **programme d'actions national** (PAN), et d'autre part de déclinaisons territoriales par le biais des **programmes d'actions régionaux** (PAR) arrêtés par les préfets de région.

Le PAN prévoit que la réglementation régionale puisse imposer la réalisation de reliquats sortie d'hiver (RSH), de RPR, ou de REH au titre de l'analyse obligatoire de la **Mesure III « Limitation de l'épandage des fertilisants azotés afin de garantir l'équilibre de la fertilisation azotée »**. Cette analyse est obligatoire pour toute exploitation possédant plus de trois hectares de surface en zone vulnérable, et doit être réalisée sur un îlot cultural au moins pour une des trois principales cultures (le nombre d'analyses pouvant être augmenté par le PAR). Elle permet à l'agriculteur de mieux ajuster la fertilisation de la parcelle où le prélèvement a été réalisé, alimente les réseaux de références techniques, et ses résultats sont tenus à disposition des services de contrôle. Des règles particulières, notamment en terme d'échantillonnage (identification des parcelles, dates d'échantillonnage, protocole d'échantillonnage...) peuvent être définies afin d'organiser et d'assurer la pertinence et la cohérence de ces réseaux. Elles sont dans ce cas décrites dans l'arrêté préfectoral définissant le référentiel régional de mise en œuvre de l'équilibre de la fertilisation azotée.

Par ailleurs, le PAN prévoit qu'en cas d'adaptation régionale aux dispositions de couverture d'interculture dans le cadre de la **Mesure VII « Couverture végétale pour limiter les fuites d'azote au cours des périodes pluvieuses »**, la mesure d'un REH ou d'un reliquat post récolte (RPR) soit rendue obligatoire (les PAR précisent cette disposition).

De plus, le PAN prévoit que la réalisation d'un reliquat azoté soit rendue obligatoire dans certaines situations d'épandage de fertilisants azotés en automne ou en hiver, identifiées dans la **Mesure I « Périodes minimales d'interdiction d'épandage des fertilisants azotés »**.

Enfin, au sein des **Zones d'Actions Renforcées** (ZAR) définies au niveau régional, les préfets de région peuvent choisir de mobiliser, entre autres, une obligation de respecter une quantité maximale d'azote minéral restant dans les sols à la fin de la période de culture ou en entrée de l'hiver, parmi un panel de mesures de renforcement. Les ZAR constituent un outil mobilisable dans le cadre des PAR et de la protection au captage des eaux et permettant le renforcement ou l'ajout de mesures réglementaires dans les zones à enjeux nitrates.

- Zones soumises à contraintes environnementales (ZSCE)

L'outil réglementaire « **zones soumises à contraintes environnementales** » (ZSCE) peut être mobilisé pour la protection des zones d'érosion, des zones humides d'intérêt environnemental particulier, des bassins versants « algues vertes » en Bretagne et, depuis la loi sur l'eau et les milieux aquatiques de 2006, des aires d'alimentation de captages (AAC).

Ce dispositif définit un cadre d'action réglementaire commun qui permet à l'autorité administrative, s'appuyant sur des consultations menées au niveau départemental ou local :

- **De délimiter des zones porteuses d'enjeux environnementaux forts** (aires d'alimentation de captages, zones érosives, zones humides d'intérêt environnemental particulier),
- **D'établir sur ces zones un programme d'action,**
- Le cas échéant, de rendre obligatoire tout ou partie de ce programme, dans un délai variable selon les situations (trois ans dans le cas général, moins d'un an dans le cas des aires d'alimentation de captages pour lesquels la mise en œuvre des actions n'est pas satisfaisante).

Les mesures définies dans le programme d'actions concernent notamment les problématiques de couverture végétale du sol et de gestion des intrants, notamment des fertilisants.

Dans ce cadre, certaines mesures prises au sein des programmes d'actions ZSCE portent sur l'atteinte d'une valeur de REH objectif et impliquent entre autres le plafonnement de la fertilisation et l'abandon de rotations à risque. L'arrêté préfectoral associé peut mentionner les dispositifs d'accompagnement mobilisant le REH développés sur le territoire, tels que MAEC ou PSE, pour en favoriser l'adhésion.

❖ **Le plan de lutte contre la prolifération des algues vertes (PLAV) en Bretagne**

Mis en place en février 2010, ce plan de lutte vise à réduire la prolifération des algues dans huit baies bretonnes concernées par le phénomène. Ce plan comprend des mesures portant sur l'amélioration de la connaissance, des mesures curatives, et préventives visant à limiter les flux d'azote vers les côtes. Le REH fait partie des indicateurs utilisés pour évaluer la dynamique de l'azote sur les territoires concernés : il est mesuré dans l'ensemble des baies de 2010 à 2015 au sein de 2500 exploitations agricoles, nombre qui a été réduit à 600 compte tenu des coûts humains et financiers d'un tel dispositif.

Pour aller plus loin :

- *Le projet d'arrêté préfectoral définissant le programme d'action volontaire de la baie de Douarnenez visant à diminuer les flux de nitrates contribuant à la prolifération des algues vertes.*
- *L'arrêté inter-préfectoral du 12 septembre 2022 définissant le programme d'actions volontaires visant à diminuer les flux de nitrates et les risques de fuite d'azote contribuant à la prolifération des algues vertes de la Lieue de Grève et du Douron en application notamment de l'article L. 211-3 du code de l'environnement et de l'article R. 114-1 du code rural et de la pêche maritime.*

Le REH dans les documents de planification dans le domaine de l'eau

Chaque bassin hydrographique français produit tous les six ans un **Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux** (SDAGE) accompagné d'un programme de mesures, qui définit les grandes orientations, priorités du territoire et mesures dont la mise en œuvre est nécessaire à l'atteinte des objectifs environnementaux de la directive cadre sur l'eau. Les SDAGE comprennent notamment des orientations fondamentales et des dispositions dédiées aux luttes contre les pollutions diffuses, et plus particulièrement à la lutte contre la pollution par les nitrates.

Par exemple, le SDAGE 2022-2027 du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands dispose que les suivis d'azote dans le sol doivent être renforcés, ce qui pourra se traduire par un suivi des REH sur des îlots tournants d'une année sur l'autre, choisis pour être représentatifs à l'échelle de l'unité hydrographique.

Les **Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux** (SAGE) peuvent aussi aborder le sujet de la maîtrise de la pollution des eaux par les nitrates d'origine agricole. Par exemple, le SAGE de la Nappe de Beauce et ses milieux aquatiques prévoit un suivi annuel de la teneur en nitrates de l'eau s'infiltrant au-delà de la zone explorée par les racines des cultures. Une estimation de cette teneur est établie à partir de mesures de REH.

Le REH au sein des dispositifs incitatifs de suivi

Un certain nombre de politiques publiques mobilisant le REH sont fondées sur l'engagement des acteurs du territoire au sein de dispositifs d'aides. Selon les démarches, les résultats de REH sont considérés à l'échelle individuelle (notamment PSE, MAEC) et / ou collective (observatoire) sur l'ensemble du territoire concerné.

Dans tous les cas, les objectifs de REH sont la traduction de la qualité de l'eau souhaitée à l'échelle du territoire.

❖ Les MAEC

Le plan stratégique national (PSN), déclinaison de la politique agricole commune 2023-2027, offre la possibilité de mobiliser des **Mesures agroenvironnementales et climatiques (MAEC)**. Les cahiers des charges de plusieurs mesures ciblées sur les enjeux eau et gestion de la fertilisation, mobilisent le REH à la fois comme indicateur de suivi et de résultat. Il s'agit notamment de réaliser deux mesures de reliquat, un REH et un RSH, par tranche de 20 ha de surface en céréales et oléoprotéagineux, ainsi que d'atteindre un objectif de REH moyen, fixé par l'opérateur à l'échelle du territoire, dès la deuxième année de souscription à la MAEC.

Les cahiers des charges prévoient également la réalisation par un technicien ou un animateur d'un bilan annuel fondé sur l'analyse du REH, dans le but de piloter la fertilisation.

❖ Les observatoires de reliquats

Leur vocation première est de préciser la connaissance sur les pertes en azote par lixiviation et de participer à l'identification des situations et pratiques culturales à risque. Les observatoires peuvent ainsi réaliser une synthèse des résultats annuels comprenant des données relatives aux types de sol, aux conditions climatiques et aux pratiques culturales afin d'évaluer leur impact. Ils contribuent également à évaluer l'efficacité des politiques nitrates mises en œuvre sur le territoire où ils sont déployés, généralement un département ou un bassin d'alimentation de captage, et constituent un bon moyen de sensibiliser les agriculteurs. De ce fait, les observatoires mobilisent le REH en association avec d'autres indicateurs, parmi lesquels d'autres reliquats, des observations aux champs ou encore des indicateurs économiques, qui constituent des supports à l'élaboration de conseils sur la fertilisation azotée.

❖ Les contrats azote

Ils engagent les agriculteurs volontaires au respect de bonnes pratiques agricoles, notamment de fertilisation, à condition toutefois que les rendements ne soient pas impactés par ce changement de pratiques ; cet engagement est en général d'une durée de 3 ans renouvelables. En retour, l'agriculteur engagé bénéficie de conseils fondés sur les valeurs de reliquat mesurées sur ses parcelles. Ainsi, les contrats azote permettent de développer la connaissance sur l'impact des pratiques agricoles sur la lixiviation. Les contrats fixent un objectif de REH mais les exploitants ne sont pas pénalisés en cas de non atteinte de l'objectif.

❖ Les paiements pour services environnementaux (PSE)

Les PSE en agriculture constituent une transaction volontaire qui vise à rémunérer les agriculteurs pour la réalisation de services environnementaux définis. Ces services contribuent à restaurer ou maintenir des écosystèmes, dont la société tire des bénéfices tels que la préservation de la qualité de l'eau, le stockage de carbone ou encore la protection du paysage et de la biodiversité. Aujourd'hui, une grande partie des PSE s'inscrit dans le cadre du régime d'aide expérimental validé par la Commission Européenne en février 2020 et pilotés par les agences de l'eau. D'autres PSE actuellement mis en œuvre existent et s'inscrivent dans le cadre d'autres régimes d'aide (PSE d'eau de Paris, PSE du BAC Tremblay-Omonville...). Plusieurs PSE actuellement mis en œuvre conditionnent l'obtention de paiement à l'atteinte d'objectif en matière de REH. Selon des critères propres à chaque PSE, celui-ci peut prévoir un bonus collectif afin d'inciter l'engagement des exploitants dans la démarche (Fiche 4). Les PSE mobilisant le REH sont généralement définis à l'échelle d'une aire d'alimentation de captages.



Les paiements accordés dans le cadre de PSE ne peuvent pas se cumuler avec les MAEC.

❖ L'expérimentation Innov'azote : démarches territoriales de gestion de l'azote sur la base d'objectifs de résultat

Conçue au sein du comité de rénovation des normes en agriculture, associant les acteurs du monde agricole, de la recherche et de l'État, cette expérimentation s'adresse à des collectifs territoriaux rassemblant des agriculteurs en effectif suffisant, au minimum une collectivité territoriale ainsi que d'autres acteurs des territoires concernés par la problématique.

Son objectif est de tester et évaluer la faisabilité, la reproductibilité et l'efficacité de démarches territoriales de gestion de l'azote par objectifs de résultats en terme de limitation des fuites d'azote vers le milieu.

Les projets sélectionnés s'inscriront dans un cadre expérimental commun qui permettra d'alimenter, à terme, les réflexions sur l'évolution de la politique publique. Ils devront en particulier porter sur un territoire affichant une cohérence hydrologique ou hydrogéologique, engager un collectif territorial, définir un plan d'actions précisant notamment des objectifs de résultats et suivre un socle d'indicateurs commun à toutes les expérimentations Innov'azote, dont le REH.

Fiche 1. Pourquoi utiliser le REH dans les démarches par objectif de résultat ?

1. La nécessité d'évaluer les flux d'azote vers les milieux

Le rapport de la mission CGEDD-CGAAER de 2020 dédiée à la « contribution à l'évaluation des programmes d'actions pour la lutte contre la pollution des eaux par les nitrates d'origine agricole » dresse le constat de résultats insuffisants des politiques publiques sur la qualité de l'eau. Pour les auteurs, il est nécessaire de redonner du sens à l'action et de replacer la qualité de l'eau au centre des débats. Ils recommandent de définir un dispositif accompagné et encadré permettant d'ouvrir la possibilité pour des collectifs territoriaux de s'engager sur des objectifs de résultats « nitrates ». Ce dispositif serait une alternative aux seules obligations de moyens et permettrait de mieux motiver et mobiliser les acteurs volontaires, de créer un effet d'entraînement et in fine de rendre plus efficaces les programmes d'actions. Les objectifs de résultats porteraient sur la teneur en nitrates des sols en début de période de drainage.

2. La nécessité de préciser la connaissance sur la gestion de l'azote au sein d'un territoire

L'azote du sol subit deux types de transformation : la minéralisation, pouvant conduire à des pertes par lessivage, et l'organisation par l'enfouissement de cultures ou grâce à la couverture du sol. Il est difficile d'estimer précisément l'impact des pratiques agricoles sur ces transformations de l'azote. Les indicateurs actuellement mobilisés au sein des politiques publiques sont en particulier des indicateurs d'état (teneur en nitrate de la masse d'eau - résultante des pratiques présentes et passées) et des indicateurs de pression (surplus azotés...). Les indicateurs de pression couramment utilisés permettent de qualifier les évolutions constatées (favorable, défavorable pour la qualité des eaux) et leur intensité mais sont peu performants pour prédire l'impact des pressions en termes d'état à venir des masses d'eau concernées.

Le REH est quant à lui un indicateur de pression performant pour estimer la teneur en nitrate de l'eau s'infiltrant au-delà du front racinaire (CORPEN, 2006).

Le REH permet de placer les fuites de nitrates vers le milieu au centre des échanges.

Il permet de mesurer⁴ la teneur en nitrates de la solution du sol, horizon par horizon, au début de la période de drainage et se pose en indicateur privilégié pour estimer la teneur en nitrates de l'eau s'infiltrant en profondeur durant la période drainage.

⁴ Le laboratoire d'analyse mesure les teneurs en nitrate et en ammonium de la solution du sol (exprimées en mg/l) et l'humidité massique du sol. À partir de ces mesures et en retenant des hypothèses de densité apparente et de charge en cailloux, il calcule un reliquat d'azote minéral exprimé en kg N/ha pour les différentes formes d'azote minéral.

- > La mesure de REH couplée à l'utilisation de modèles simulant la dynamique de l'azote dans le sol durant la période de drainage permet de fournir une estimation de la teneur en nitrates de l'eau s'infiltrant en profondeur. Localement, en retenant des hypothèses climatiques en termes de précipitations efficaces, un objectif de teneur en nitrate des eaux peut être traduit en objectifs de REH (Fiche 3).
- > En rendant perceptibles les teneurs en nitrates de l'eau du sol et les fuites de nitrates par lessivage, le REH permet aux agriculteurs de s'approprier la dimension environnementale de leurs pratiques de gestion des terres et de l'azote.
- > Le REH constitue un indicateur de résultat intermédiaire, connu avant que l'impact de l'évolution des pratiques ne puisse être décelé au niveau des points de mesure de la qualité dans le milieu, nappe phréatique ou cours d'eau.
- > Le recours aux objectifs de résultat en matière de qualité de l'eau et limitation des fuites de nitrates vers le milieu, comme la mise en place d'un observatoire de REH, conduit à développer la connaissance sur la gestion de l'azote au sein des territoires. Capitaliser les analyses de REH à l'échelle d'un territoire permet notamment de cibler les situations culturelles ou les zones du territoire d'intérêts pour atteindre les objectifs de qualité de l'eau. **Cela permet également aux exploitations de se positionner parmi les résultats observés** (teneur en nitrates de la solution du sol dans les différents horizons, REH, teneur en nitrates de l'eau s'infiltrant sous la parcelle) **et les pratiques observées sur le territoire, et d'identifier les leviers agronomiques individuels et collectifs à déployer.**

La mise en place d'observatoires de reliquats permet d'organiser cette capitalisation.



Certaines démarches de type observatoire de reliquats ont mis en place des réseaux de référence pour préciser la connaissance sur les pertes en nitrates au champ. Ces observatoires peuvent permettre d'identifier précisément les facteurs agronomiques et les pratiques culturelles influençant la concentration sous-racinaire en nitrates à l'échelle du territoire, et par là de mettre en lumière les situations à risque concernant la pollution aux nitrates.

➔ **Pour aller plus loin :** Vandenberghe Christophe. 2016. *Performance de l'indicateur Azote Potentiellement Lessivable pour l'évaluation de la gestion des nitrates en agriculture et du risque pour la qualité de l'eau* (thèse de doctorat). Gembloux, Belgique. Université de Liège – Gembloux Agro-Bio Tech, 222 p.

Fiche 2. Comment réaliser un REH dans une démarche territoriale par objectif de résultat ?

1. Où prélever un REH ?

Comment choisir les parcelles à prélever ?

L'identification des sites de prélèvement chaque année en amont de la campagne de mesure constitue un préalable à sa réalisation. Les critères de sélection des parcelles sont définis en fonction des objectifs prioritaires poursuivis, selon qu'ils portent sur l'atteinte d'un objectif de REH prédéfini (Fiche 3) ou sur le développement de la connaissance sur la dynamique de l'azote dans les sols au sein d'un territoire. Deux types de réseaux de parcelles se distinguent :

- Un réseau de parcelles mobiles, renouvelé chaque année. Ce type de réseau permet par exemple de suivre une succession culturale donnée.
- Un réseau de parcelles fixes où les mêmes parcelles sont suivies chaque année. Dans ce cas, la mesure du REH couplée à d'autres observations permet d'améliorer la compréhension des facteurs de variation du REH en éliminant notamment la variabilité liée au type de sol.



Le prélèvement de terre pour mesurer des reliquats d'azote minéral sur les sols très caillouteux, c'est-à-dire dont les éléments grossiers représentent plus de 50% du volume de sol, est difficile. La valeur de REH mesurée par les laboratoires peut se retrouver faussée par une mauvaise estimation de la granulométrie de la parcelle. Il est ainsi nécessaire d'échanger avec les agriculteurs pour éviter de sélectionner des parcelles dont l'échantillonnage et l'analyse s'avèreraient trop compliqués. Pour les parcelles où la mesure d'un REH s'avère particulièrement difficile, il est opportun de se retourner vers des méthodes alternatives pour estimer les fuites d'azote par lessivage.

Le choix du mode de suivi reste à déterminer pour chaque territoire selon les objectifs poursuivis. Il est fréquent de recourir à un réseau combinant le suivi de parcelles fixes et mobiles.

Le PSE de l'AAC du Tremblay-Omonville

Initialement, la démarche portait sur une centaine de parcelles, dont 60% faisaient partie du réseau mobile. Les parcelles étaient choisies de manière à cibler les successions de cultures types du territoire, incluant les blés de précédents et les suivants de blé et de colza, identifiées comme prioritaires. De manière générale, plus le nombre de REH réalisés est faible, plus la part de parcelles du réseau mobile nécessaire à l'étude des successions prioritaires est grande. Lorsque le nombre de parcelles étudiées a été porté à cinq cents, beaucoup plus de parcelles se sont de fait retrouvées dans le réseau fixe.

Quel que soit le mode de suivi, les parcelles choisies doivent représenter la diversité des situations culturelles (cultures, successions de cultures, pratiques culturelles et types de sol) à l'échelle du territoire. Cela nécessite de bien connaître cette diversité. L'association des agriculteurs est à privilégier.



En cas de nouvelle démarche REH, il est conseillé de débiter l'animation de réseau de reliquats sur une base de parcelles fixes uniquement. Le choix des parcelles variables est envisageable mais requière une certaine technicité.

Lorsque l'objectif de REH est fixé à l'échelle de l'exploitation, comme dans le cadre des MAEC, il est conseillé de réduire la part de parcelles fixes pour privilégier la sélection de nouvelles parcelles chaque année. Adopter un réseau mobile permet ainsi :

- de suivre une part plus importante des surfaces cultivées de l'exploitation sur l'ensemble de la durée de l'engagement ;
- d'étudier les successions de cultures d'intérêt prédéfinies, la diversité des assolements ne permettant pas toujours de couvrir toutes les successions.

Où prélever dans la parcelle ?

Le prélèvement s'effectue dans la zone homogène de plus grande taille au sein de la parcelle afin de limiter les biais de mesure. Ces biais peuvent être liés à la variabilité de la profondeur du sol, à la présence de talus, de zones humides ou encore de stockage d'effluents d'élevage riches en azote. Les prélèvements élémentaires⁵ doivent être espacés d'au moins cinq mètres et couvrir une surface suffisamment

⁵ Un prélèvement élémentaire correspond à un sondage. L'assemblage des différents prélèvements élémentaires pour un horizon de sol donné constitue un échantillon.

importante. Pour cela, plusieurs géométries de prélèvement élémentaire existent, parmi lesquelles :

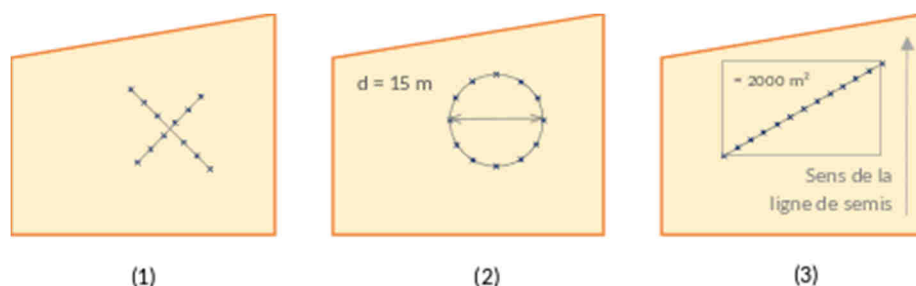


Figure 3 : Différentes géométries de prélèvement élémentaire : en croix (1), en cercle (2) et en diagonale (3).

Le choix de la géométrie de prélèvement élémentaire dépend des caractéristiques de la parcelle et du type de suivi effectué. Le prélèvement en croix est ainsi adapté aux petites parcelles, et le prélèvement en cercle est pertinent dans le cadre du suivi pluriannuel d'une parcelle. Deux prélèvements doivent être séparés d'au moins trente mètres pour assurer l'indépendance de la mesure.



Le géoréférencement des parcelles est vivement recommandé pour assurer le suivi spatial des REH dans le temps. Les prélèvements doivent être localisés par le code parcelle et leurs coordonnées GPS. L'association des coordonnées GPS est indispensable, le découpage des parcelles d'une campagne culturale sur l'autre pouvant entraîner une modification du code parcelle.

2. Quand prélever un REH ?

Les contraintes rencontrées par les laboratoires d'analyse

Les laboratoires d'analyse de sol sont soumis à des contraintes logistiques, de ressources humaines et de matériel (Fiche 4), qui peuvent en partie conditionner les modalités de prélèvement. La variabilité de la date de début drainage, la réalisation d'autres analyses de sol sur cette même période (analyses d'ensilage...) et la capacité de stockage limitée des échantillons en congélateur contraignent à la fois la réalisation des analyses et des prélèvements, les préleveurs étant moins disponibles à cette période en raison d'une forte activité agricole.

La date de déclenchement de la campagne de prélèvement doit donc intégrer les critères liés à la disponibilité des laboratoires et des préleveurs, au-delà des considérations sur la date de début drainage. Anticiper l'organisation de la campagne est primordial.

Déterminer le début de la campagne de prélèvement

Le REH reflète la quantité d'azote disponible dans le sol avant la phase de lixiviation. L'enjeu est donc de démarrer la campagne de prélèvement avant le début de la période de drainage. Celui-ci varie entre parcelles et d'une année sur l'autre, et peut s'étendre de mi-septembre à mi-janvier. Il est nécessaire d'estimer chaque année la date de début drainage avant le lancement de la campagne de prélèvement.



Le remplissage de la réserve utile des sols présentant une forte variabilité selon les zones, il convient d'utiliser les sols de plus faible réserve utile comme référence pour déclencher la campagne de prélèvement.

Une première estimation de la date de début drainage peut être effectuée sur la base des données météorologiques des dix années précédentes. Il convient ensuite d'affiner cette estimation grâce aux données de terrain :

- Par calcul du remplissage de la réserve utile du sol, à partir des données de pluviométrie et d'évapotranspiration. Cela suppose de bien connaître la nature des sols, puisque la réserve utile dépend de la texture et de la profondeur du sol⁶ ;
- Par le suivi de reliquat azoté sur un réseau de parcelles de référence, sélectionnées de manière à faciliter le suivi (parcelles implantées en blé, en colza ou les sols nus). Un suivi de ces valeurs de reliquat est alors organisé de septembre à décembre à une fréquence d'une mesure toutes les trois semaines. Les premiers transferts de l'horizon 1 vers les autres horizons marquent le début de la période de drainage. Attention toutefois à ne pas trop attendre pour déclencher la campagne.



Le terme « horizon » employé désigne les tranches de sol d'épaisseur 30 cm au sein desquelles sont réalisées les mesures de REH (voir « *Comment procéder aux prélèvements* »). Il diffère de l'horizon pédologique qui correspond à une couche de sol qui se distingue des autres par ses caractères morphologiques spécifiques (couleur, structure, constituants...).

⁶ Chambre d'Agriculture Ariège. 2018. Fiche de calcul de la Réserve Utile et de la Réserve Facilement Utilisable d'un sol. 2p.

Fenêtre de prélèvement

La durée de la campagne de prélèvement résulte d'un compromis entre le souhait de prélever au moment optimal chez tous les agriculteurs et la capacité des préleveurs à constituer les échantillons de sol dans un intervalle de temps réduit. Cette durée dépend du nombre de mesures de REH à réaliser et est donc indirectement liée à la taille du territoire considéré. La période de prélèvement peut s'étendre d'une semaine, pour les petits territoires, à plusieurs semaines pour les territoires plus étendus.



Afin de limiter l'effet date, il est possible de tenir compte de la variabilité dans le remplissage de réserve utile : le prélèvement peut alors être réalisé de manière progressive des zones pour lesquelles la réserve hydrique des parcelles se reconstitue tôt vers celles où elle se remplit en dernier. La DRAAF Bretagne demande ainsi à ses préleveurs de mesurer autant que possible les REH d'Ouest en Est.



Certaines méthodes permettent de pallier l'effet date :

- le modèle de Burns, et les modèles qui en dérivent, permettent d'estimer la lixiviation et de calculer un équivalent début drainage (Fiche 3) ;
- la mesure régulière du reliquat sur un réseau de parcelles de référence. Des segments tracés entre les valeurs permettent de recontextualiser le REH mesuré sur une parcelle. C'est la méthode employée en Wallonie, où la campagne dure trois mois.

3. Comment procéder aux prélèvements ?

Pour interpréter correctement les mesures de REH, le prélèvement des échantillons doit être réalisé de manière homogène sur l'ensemble du territoire concerné par la campagne de prélèvement. Pour ce faire, il est préconisé, lorsque la taille du territoire le permet, de solliciter un même préleveur. Les préleveurs sont souvent mandatés par les laboratoires d'analyse. Dans le cas où il est nécessaire de faire appel à plusieurs préleveurs, il est conseillé de préciser le mode opératoire du prélèvement au sein du cahier des charges. Ce document pourra notamment spécifier :

- le nombre de prélèvements élémentaires par échantillon ;
- le nombre moyen d'horizons prélevés ;
- les conditions de conservation des échantillons ;
- éventuellement le matériel de prélèvement.



Attention aux possibles contaminations entre les différents horizons en cas d'utilisation d'un équipement de type tarière.

De manière générale, il est préconisé⁷ de :

- **Constituer un échantillon à partir de douze-quinze prélèvements élémentaires**
- **Prélever entre deux et trois horizons de sol de 30 cm** chacun selon la profondeur constatée sur la parcelle (voir encadré ci-dessous). Il convient de prendre soin de gratter la couche herbeuse superficielle sur l'horizon 1. Il est particulièrement important pour l'interprétation de la mesure d'identifier les horizons prélevés sur une parcelle, de constituer un échantillon spécifique à chaque horizon prélevé, et de veiller à ne pas mélanger les horizons. En cas de mélange, les résultats ne sont pas exploitables.



Une attention particulière doit être portée sur la **profondeur de prélèvement**. La teneur en nitrate de l'horizon le plus profond a une forte incidence sur la teneur en nitrate de l'eau s'infiltrant en profondeur, en particulier si la lame d'eau drainante se révèle forte. Le dernier horizon, parfois non prélevé lors des mesures de RSH, doit l'être pour une mesure de REH. La connaissance des profondeurs d'enracinement selon les types de sols du territoire est un préalable à l'identification des parcelles avec mesure de REH. Il est fortement conseillé de prélever *a minima* deux horizons de sol. Des prélèvements sur un seul horizon peuvent exceptionnellement être réalisés si des difficultés particulières sont rencontrées lors de l'échantillonnage (sols crayeux très ou caillouteux).



De hautes valeurs d'ammonium mesurées dans l'échantillon peuvent constituer un indicateur de mauvaises conditions de prélèvement (sol en phase de gel ou de dégel, sol gorgé d'eau) ou de sa mauvaise conservation.

⁷ Agence française de normalisation. 2001. *Qualité des sols - Prélèvement et conservation des échantillons de sol en vue de la détermination de l'azote minéral sur sol frais* (NF X31-115). Et Chambres d'Agriculture France. 2019. *Guide de réalisation des synthèses de Reliquats Sortie d'Hiver (RSH)*. 141p



Garder les échantillons à une température comprise entre 0° et 4°C dès le prélèvement en les disposant dans une glacière avec des pains de glace et en les tenant éloignés de toute source de chaleur comme le moteur ou un habitacle de voiture. Si les échantillons ne peuvent être envoyés dans les 48 heures au laboratoire, il convient de les congeler. Il est par ailleurs recommandé de faire analyser les échantillons par un laboratoire proche des sites de prélèvement pour diminuer les risques de rupture de chaîne du froid lors du transport.

Afin d'assurer un suivi cohérent de la mesure de REH au sein d'une parcelle et d'un territoire, **le nombre d'horizons étudiés pour chaque parcelle** doit être fixé par l'opérateur avant le lancement des démarches sur le terrain, et ce pour toute la durée de la campagne. Ce nombre est déterminé par l'opérateur sur la base des données des campagnes précédentes. Le dernier horizon qui sera prélevé correspond à l'horizon le plus profond atteint sur les deux dernières campagnes. Toutefois, il est nécessaire qu'il soit représenté sur la majorité des prélèvements. Il est ainsi conseillé de choisir l'horizon atteint pour au moins deux tiers des sondages effectués sur la parcelle. Si les données préalables ne sont pas disponibles, le nombre d'horizons prélevés lors de la première année de campagne peut servir de repère, la détermination de ce nombre se faisant sur les critères évoqués ci-dessus.

Déterminer un nombre moyen d'horizon à considérer à l'échelle d'un territoire ou d'une exploitation peut également s'avérer indispensable dans le cas du calcul d'un REH moyen à l'échelle d'une exploitation. Les parcelles prélevées au sein d'une exploitation pouvant varier d'une année sur l'autre et les sols n'étant pas tous homogènes, ce nombre permet d'assurer l'homogénéité interannuelle du REH moyen d'une exploitation.

Par exemple, dans le cas d'un REH moyen de 2.6 à l'échelle d'un territoire :

- Pour chaque parcelle au sein desquelles trois horizons ont été prélevés, sont considérés pour le calcul du REH, les valeurs des horizon 1 et 2 ainsi que 60% de la valeur de l'horizon 3.
- Pour chaque parcelle au sein desquelles 2 horizons ont été prélevés, sont considérés les valeurs des horizons 1 et 2 ainsi que 60% de la moyenne des valeurs de l'horizon 3.

4. Quelles conditions de réussite ?

Anticiper les chantiers de prélèvements et l'analyse des mesures de REH

- **Prévoir les moyens humains requis en amont de la campagne de prélèvement**

Il convient de porter une attention particulière à la disponibilité de la main d'œuvre assurant le prélèvement de REH. Si la capacité de prélèvement est assurée pour les campagnes de mesure de RSH, cela ne sera pas forcément le cas des campagnes de REH, en particulier dans un contexte d'accroissement du nombre de mesures. En effet,

le calendrier permet difficilement aux agriculteurs d'assurer eux-mêmes les prélèvements comme cela peut être le cas pour les prélèvements de RSH. Les préleveurs mécanisés sont souvent déjà sollicités pour d'autres travaux agricoles, et les laboratoires qui assurent eux-mêmes le prélèvement présentent des capacités limitées. Pour mettre toutes les chances de son côté, il importe donc d'anticiper suffisamment la campagne de prélèvement et de dialoguer en amont avec les intervenants.

- **Préparer les données et le matériel nécessaires à l'analyse**

Pour un traitement optimal des échantillons de REH par les laboratoires d'analyse de sol, il convient d'anticiper :

- La transmission au préalable au laboratoire de toutes les données nécessaires à l'étiquetage de l'échantillon (coordonnées GPS, données sur le destinataire...) ;
- L'organisation, suffisamment en amont, de la campagne de prélèvement de manière à l'articuler avec le calendrier des autres analyses effectuées sur la même période : analyse d'ensilage, analyse chimique de sol, ... ;
- L'approvisionnement en matériel d'analyse : éléments consommables et produits chimiques.

Les capacités d'analyse des laboratoires, en termes de nombres d'échantillons traités et de couverture du territoire sont, si anticipées, généralement adaptables aux besoins exprimés par l'opérateur.



La préférence des laboratoires d'analyse entre analyse en frais ou sur échantillon congelé est très variable selon les structures. Il convient alors d'échanger directement avec le laboratoire concernant la logistique de conservation et de transport des échantillons.

S'assurer de l'exploitabilité des résultats

- **Travailler avec un laboratoire dont les compétences sont reconnues**

Il est fortement recommandé de s'adresser à un laboratoire d'analyse de sol figurant sur la liste des laboratoires agréés par le Ministère de l'Agriculture fixée par l'arrêté du 29 novembre 2022⁸. Le laboratoire doit également respecter la norme NF ISO 14256-2⁹ portant sur le dosage de l'azote minéral et, lorsqu'il réalise le prélèvement, la norme NFX 31-115¹⁰. Il est également nécessaire de s'assurer que le laboratoire restitue non seulement le reliquat d'azote minéral par horizon (exprimé en kg N/ha) mais aussi la

⁸ <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2022/11/29/AGRT2232489A/jo/texte>. Cette arrêté est actualisé chaque année.

⁹ Agence française de normalisation. 2007. Qualité du sol - Dosage des nitrates, des nitrites et de l'ammonium dans des sols bruts par extraction avec une solution de chlorure de potassium - Partie 2 : méthode automatisée avec analyse en flux segmenté (NF ISO 14256-2).

¹⁰ Agence française de normalisation. 2001. Qualité des sols - Prélèvement et conservation des échantillons de sol en vue de la détermination de l'azote minéral sur sol frais

teneur de la solution aqueuse extraite de l'échantillon (exprimé en $\text{mg NO}_3/\text{ha}$), l'humidité massique de l'échantillon et les hypothèses retenues (densité apparente, charges en cailloux...) pour le calcul du reliquat d'azote minéral (exprimé en $\text{kg N}/\text{ha}$).

La fourniture conjointe des résultats de simulation de perte de nitrates par lessivage pour différentes hypothèses de précipitation efficace durant la période de drainage peut également être utile. Les laboratoires qui analysent des RSH et établissent un conseil de fertilisation sont dotés des outils de simulation permettant de fournir ces résultats.

- **Vérifier les données pédologiques utilisées par les laboratoires**

La mesure de reliquat azoté se fait sur un échantillon tamisé, qui ne représente pas le sol dans sa totalité. Pour calculer le reliquat contenu effectivement dans une unité de sol, il est nécessaire de connaître la granulométrie, de l'humidité massique du sol et la densité apparente du sol. Ces données doivent être vérifiées par les porteurs de projet et peuvent éventuellement être communiquées aux laboratoires par ceux-ci.

!

La précision de l'estimation du REH dépend fortement du nombre de carottages élémentaires. Avec au moins 12 carottages pour une parcelle, l'erreur relative est inférieure à 8%.



Figure 4 : Erreur relative sur la détermination du reliquat azoté en fonction du nombre de prélèvements (cas d'un sol de limons) (Perspectives Agricoles, février 2022).

Une incertitude liée à la mesure de l'échantillon, définie par le laboratoire d'analyse et pouvant aller jusqu'à 20-30% vient s'ajouter à l'incertitude, décrite Figure 4, liée au nombre de prélèvement. Il est important de garder ces ordres de grandeur en tête, bien qu'il ne remette pas en cause l'utilisation de l'indicateur (Fiche 4).

Les indispensables

- Disposer, en amont du lancement des campagnes de prélèvement, de données relatives aux sols et au comportement de l'azote sur le territoire concerné par la démarche. Cela permet notamment de déterminer le nombre moyen d'horizons à prélever pour chaque parcelle d'un territoire et de donner une première approximation de la date de début drainage. Il est conseillé de disposer *a minima* de 1 ou 2 ans de mesures de REH.
- Afin de garantir l'homogénéité des prélèvements, définir un mode opératoire de prélèvement unique et fixe. Dans le cas où le laboratoire d'analyse se charge de mandater les préleveurs, veiller à ce que l'élaboration du mode opératoire de prélèvement ait bien été réalisé.
- Afin de faciliter l'organisation des préleveurs et laboratoires, déterminer la plage probable de dates de prélèvement suffisamment en avance. Pour les territoires avec un nombre restreint d'échantillons, la campagne peut être déclenchée en fonction des remontées de terrain.
- Il est fortement recommandé de faire appel aux laboratoires d'analyse de sol agréés par le Ministère (liste fixée par l'arrêté du 29 novembre 2022), situés à proximité du territoire où sont prélevés les échantillons de sol.

Focus MAEC

- En cohérence avec la méthode retenue par le territoire pour fixer l'objectif de REH moyen, le choix des parcelles prélevées sera représentatif de la situation culturale observées, ou focalisé sur des cultures ou successions culturales d'intérêt. Dans le premier cas, il s'agit de choisir les parcelles prélevées de manière proportionnelle à l'assolement de l'exploitation, en privilégiant les cultures dominantes.
- Déclencher la campagne de prélèvement avant le début de la lixiviation des sols, quitte à prélever une partie des parcelles légèrement en amont du début de drainage.
- Définir de manière explicite le nombre d'horizons moyen nécessaire pour les mesures REH d'une exploitation à l'échelle d'un territoire et à partir duquel sera calculé le REH moyen.
- L'agriculteur contractant la MAEC « Eau-gestion de la fertilisation » doit réaliser chaque année deux mesures de reliquat par tranche de 20 ha de surfaces en céréales et oléoprotéagineux (COP) et cultures légumières : reliquat entrée hiver (REH) et reliquat sortie hiver (RSH). L'assolement pris en compte pour déterminer le nombre d'analyses à réaliser au titre de la campagne PAC N (de mai N à mai N+1) est celui déclaré en mai N.

Fiche 3. Comment établir un objectif de REH ?

1. Comment définir un objectif de REH ?

Dans quel objectif mobiliser le REH ?

La mobilisation du REH au sein de démarches territoriales se fait selon deux logiques majeures :

- **Pour atteindre un objectif de qualité de l'eau**

La première question est alors de savoir quelles sont les exigences exactes des opérateurs de territoires en termes de teneur en nitrates de l'eau à atteindre. Ils sont amenés en amont de la démarche territoriale à s'interroger sur :

- Sur la base de quelle chronique de données définit-on l'état zéro qui sert de référence pour fixer l'objectif ?
- Au-delà du respect de la limite réglementaire fixée par la directive eau potable à 50 mg/L, quelle ambition se donner en matière d'objectif de qualité des eaux ?
- Est-il adapté de définir une teneur moyenne de nitrates dans l'eau à atteindre ? Faut-il définir un pic de teneur maximale à ne pas dépasser ?

Ces différents questionnements servent à orienter le choix de l'opérateur de territoire dans la détermination de l'objectif territorial relatif à la teneur en nitrates de l'eau s'infiltrant sous les parcelles agricoles, et donc d'objectif de REH à atteindre. Dans ce cas, le REH constitue un indicateur de résultat intermédiaire.

✓ **Adapté pour les démarches volontaires (Innov'azote), les démarches réglementaires et les démarches à incitation financière (MAEC, PSE)**

- **Pour développer la connaissance sur la dynamique de l'azote**

Dans ce cadre, le REH représente un support de discussion invitant les exploitants à questionner leurs pratiques culturales au regard de la pollution aux nitrates et à s'approprier la réflexion autour de ce sujet.

✓ **Adapté pour les démarches observatoires en particulier**

Qui doit définir cet ou ces objectif(s) ?

Les objectifs à atteindre sont définis, conformément aux seuils fixés par la réglementation¹¹, par l'opérateur de territoire en associant l'ensemble des acteurs concernés par la démarche territoriale. Il est en effet important que les objectifs de

¹¹ Il convient de s'assurer que cet objectif à atteindre est compatible avec les exigences européennes en termes de qualité d'eau, à travers la valeur seuil fixée par la DCE, la directive nitrates ou bien la directive AEP (50 mg/l) et avec des exigences particulières telles que celles concernant les bassins contribuant à la prolifération des algues vertes.

résultats suscitent l'adhésion des parties prenantes, au rang desquelles figurent les agriculteurs et leurs représentants, les représentants des usagers, les collectivités, etc.

Comment définir l'objectif de REH ?

En fonction de l'objectif poursuivi par la démarche, et dans le respect des seuils réglementaires, l'opérateur de territoire dispose de plusieurs méthodes pour définir un objectif de REH.



Il est possible d'adopter une grille progressive en matière de REH de référence, ou de valeur de REH seuil. Deux références, ou valeurs seuils, peuvent notamment être définies (Ferrané et al, 2020) :

- Un premier seuil qui représente la limite en-deçà de laquelle le REH sera considéré comme « favorable » ou réussie, et qui, a priori, permettra d'atteindre la qualité de l'eau souhaitée.
- Un second seuil qui représente la limite au-delà de laquelle le REH sera considéré comme « défavorable » ou en échec.

Ces deux seuils permettent ainsi de délimiter trois classes d'objectifs, ou de performance, différentes.

Méthode 1 : modélisation des transferts d'azote dans le sol

Les **modèles de simulation**¹² de la lixiviation des nitrates permettent de calculer un objectif de REH sous-racinaire à partir de la concentration en nitrates souhaitée dans l'eau. Ces modèles présentent différents niveaux de complexité, qui les rendent plus ou moins pertinents dans le cadre du calcul de REH¹³. Les modèles présentent différents niveaux de complexité, qui les rendent plus ou moins accessibles dans le cadre du calcul de REH. Le recours à un modèle nécessite de veiller à bien collecter les variables d'entrée dont le modèle utilisé a besoin.

Pour le calcul de l'objectif de la teneur en nitrate de l'eau s'infiltrant sous les terres labourables, l'opérateur de territoire peut prendre en compte les zones de dilution (sols sous forêt, prairies permanentes ou terres urbanisées), en retenant des hypothèses de teneur en nitrate de l'eau s'infiltrant (elles sont généralement inférieures à ce qui est observé sous les terres labourables).

¹² Voir Lafleur P., Bourgeois. 1989. Information azote destinée aux agriculteurs. Propositions techniques pour la mise en place d'opérations locales. Fascicule n°2 : Observatoire Azote dans le sol. Ministère de l'Agriculture, Mission "eau-nitrates", 126p.

¹³ Voir Lafleur P., Bourgeois. 1989. Information azote destinée aux agriculteurs. Propositions techniques pour la mise en place d'opérations locales. Fascicule n°3 : Observatoire Azote dans le sol. Ministère de l'Agriculture, Ministère de l'environnement, Mission "eau-nitrates", 126 p.

- ✓ **Utilisable au sein de toutes les démarches, en particulier celles mobilisant un grand nombre de mesures de REH**
- ✓ **Adapté aux masses d'eau disposant d'un temps de réaction est long, en particulier aux eaux souterraines**



Le modèle de Burns est particulièrement utilisé au sein de démarches de préservation de la ressource en eau, en raison notamment de la rapidité et de la simplicité de son utilisation. Son fonctionnement requiert moins de moyens humains et de données que d'autres modèles plus précis. Les données nécessaires à ce modèle sont :

- le reliquat d'azote, horizon par horizon, et la profondeur d'échantillonnage ;
- la lame d'eau drainante durant la période de drainage, estimée à partir de la pluviométrie, l'ETP et le coefficient cultural ;
- des données pédologiques : l'humidité volumique du sol à la capacité au champ et sa densité apparente, pour chaque horizon.

Certaines données sont directement issues des résultats de l'analyse des prélèvements (teneur en nitrates de la solution du sol, humidité massique) tandis que d'autres données peuvent provenir d'un référentiel local (humidité volumique à la capacité au champ, densité apparente).

➔ ***Pour aller plus loin sur le modèle de Burns, consulter l'encart dédié.***

Certains **logiciels de modélisation** destinés aux conseillers et animateurs de territoire permettent de simuler la dynamique de l'azote dans le sol à l'échelle parcellaire. Ils constituent des outils de diagnostic des situations culturales qui modélisent l'impact du changement de pratiques culturales sur les pertes d'azote et permettent d'identifier les zones à fort risque de lixiviation.

Ces logiciels utilisent des données pédoclimatiques mais aussi des données relatives au système de culture, notamment la succession de cultures et l'itinéraire technique. Plus un modèle est complet, plus les entrées sont nombreuses.

Ils sont développés sur la base de différents types de modèles :

- **Modèle déterministe** : les logiciels simulent les échanges hydriques au sein d'un système composé du sol, de la plante et de l'atmosphère. La modélisation de la lame drainante en particulier permet de remonter au REH en partant de l'objectif de concentration en nitrate au captage. Certains logiciels se fondent en partie sur le modèle de Burns.

➔ LIXIM, STICS¹⁴, Nitrascope¹⁵...

¹⁴ Utilisé dans le bassin Seine-Normandie.

¹⁵ Voir Gratecap Marine. Comment construire un plan d'action efficace et le mettre en œuvre ? Cas du groupe nitrate sur le BAC du Tremblay-Omonville. PollDiff'Eau 2016.

- Modèle statistique : les logiciels sont utilisés en mode « optimisation ». Différents scénarios de modification du système cultural sont établis jusqu'à aboutir à la concentration en nitrates des eaux de captage objectif visée par l'opérateur. Il suffit alors d'identifier le REH correspondant.

→ Syst'N¹⁶¹⁷.

!

L'opérateur doit s'assurer que les REH fixés contribuent bien à avoir de l'eau d'une qualité en adéquation avec les objectifs de qualité d'eau qu'il a fixés.

✓ **Particulièrement adapté pour les observatoires de reliquats et les démarches réglementaires et incitatives mobilisées sur des territoires restreints.**

!

L'utilisation de modèles de lessivage peut être insuffisante dans les situations où les transferts horizontaux sont importants.

→ **Pour aller plus loin : INRAE. 2021. Les démarches Co-Click'Eau.**

La démarche Co-click'eau sur le bassin

La démarche participative Co-click'eau, développée par l'INRAE, s'appuie sur la concertation des acteurs de l'eau sur un territoire pour définir un plan d'actions. À titre d'exemple, dans le bassin de l'Arnoult (Charente-Maritime), le modèle d'optimisation sous contraintes utilisé dans cette démarche a permis de fixer pour le plan 2016-2020 un objectif de réduction de 30% du REH en moyenne, sur la base des scénarios de pratiques agricoles mis au point par l'expertise agronomique locale.

¹⁶ Mobilisé dans le cadre de l'observatoire du SAGE de Beauce et l'AAC de Briennon sur Armançon (voir Chambres d'agriculture. Aires d'alimentation de captage (AAC) - 16 actions territoriales pour la protection de la ressource en eau). Pour plus de détails sur l'outil, voir RMT Bouclage. 2013. Syst'N – Un outil pour le Diagnostic des pertes d'Azote dans les systèmes de culture.

¹⁷ Le Gall C., Reau R. et al., 2021. Guide de diagnostic des pertes d'azote dans les systèmes de culture. Projet CASDAR Agro-éco-Syst'N N° 5611.



L'objectif global de teneur en nitrates de l'eau s'infiltrant peut-être décliné en sous-objectifs de REH propres aux principales situations culturelles de manière, par exemple, à cibler les successions identifiées comme prioritaires sur le territoire considéré. Dans ce cas, une proportion de seuil, fixée par les opérateurs de territoire au début de la démarche, définit si une succession peut être considérée comme représentative. **De manière générale, il convient de définir au début de la démarche quelles seront les situations culturelles suffisamment présentes sur le territoire pour qu'un objectif de REH leur soit assigné.**



Le REH mesuré une année donnée sur une parcelle est comparé avec l'objectif de REH calculé par modélisation (utilisation prévisionnelle du modèle).

Il est également possible de confronter un REH moyen pluriannuel à cet objectif lorsque l'historique de REH du territoire montre une forte variabilité interannuelle. Une moyenne glissante peut être calculée, en particulier lorsque le REH du territoire montre une forte variabilité interannuelle.

Le calcul d'une moyenne mobile du REH mesuré à l'échelle de l'exploitation peut être intéressant dans le cadre d'une MAEC, puisque l'atteinte de l'objectif de REH n'est requise qu'à partir de la deuxième année de souscription.

Méthode 2 : statistiques s'appuyant sur un réseau de référence

L'objectif de REH, ou REH de référence, est déterminé à partir des mesures de REH issues des parcelles d'un réseau d'exploitations de référence. Ce réseau est constitué d'agriculteurs volontaires mettant en œuvre des pratiques considérées comme exemplaires à l'échelle du territoire. Les parcelles sélectionnées au sein de ce réseau doivent explorer la diversité des situations culturelles (système de culture x type de sol) du territoire.

Avec cette méthode, il reste possible d'appliquer un modèle de lixiviation pour estimer, à partir des REH mesurés, la teneur en nitrates de l'eau s'infiltrant en profondeur, que ce soit à titre prévisionnel ou a posteriori au vu des conditions climatiques constatées.

✓ **Dans le cas où l'objectif concerne des eaux superficielles dont la teneur en nitrates est soumise à une forte variabilité au cours de l'année.**

Le référentiel APL wallon

Le dispositif s'inscrit dans un cadre réglementaire. Il établit les valeurs de référence de REH sur la base de deux séries de mesures, réalisées durant la deuxième moitié d'octobre et la première décade de décembre. Les références sont définies pour huit classes de cultures différentes, où une vingtaine de parcelles est analysée pour chacune d'entre elles. Ces classes permettent de couvrir 95% des terres agricoles et sont définies comme suit : betterave, céréales suivies d'une culture de printemps, céréales suivies d'une culture d'hiver et chicorées, maïs, pommes de terre, colza, légumes, prairies.

La valeur médiane des REH mesurés au sein du réseau de référence définit le seuil de bon état azoté, et le 66ème percentile marque le seuil de conformité. Les valeurs mesurées au sein des exploitations agricoles sont considérées satisfaisantes si elles se situent en dessous du seuil de conformité, et bonnes en dessous de la médiane. L'objectif de REH est donc confondu avec la médiane.



Ici, seul le type de culture est pris en compte. Certains facteurs comme le taux d'humus, le type de sol et l'historique de la parcelle ainsi que la présence d'effluents ponctuels dans les prairies pâturées n'étant pas considérés, ce qui peut représenter un biais pour la prairie.

Le Plan de lutte contre les algues vertes

Le réseau de référence est composé d'environ 200 parcelles. Les valeurs statistiques considérées pour définir le seuil d'acceptabilité du REH sont la moyenne, la médiane et le percentile 90. Les seuils sont définis par bassin ou sous bassin versant. Les exploitants dont le REH dépasse la valeur statistique choisie font l'objet d'un accompagnement spécifique par les services de l'État. En sus, au-delà d'une valeur seuil de REH de 80 kg N/ha, l'agriculteur est informé par le laboratoire d'analyse avant l'établissement de son plan de fumure et peut demander à bénéficier de conseils sur la fertilisation azotée.

2. À quelle échelle spatiale raisonner ?

L'échelle privilégiée pour calculer la valeur de REH diffère en fonction de l'objectif de la démarche.

- à la parcelle
Pour encourager les agriculteurs à produire de l'eau de bonne qualité sur l'ensemble de leurs surfaces exploitées et apporter des éléments utiles à l'identification avec eux des facteurs de réussite et des leviers d'action.

✓ **Adapté à tout type de démarche ayant pour objet la restauration et préservation de la ressource en eau.**
- à l'exploitation agricole
Il est décliné à partir de l'objectif de territoire. Le calcul peut être envisagé à partir d'hypothèses de successions prioritaires ou sur la base d'une sélection de parcelles représentative de l'assolement.
Chaque exploitation peut situer les REH mesurés sur son exploitation par rapport à l'objectif de son exploitation et par rapport aux résultats des autres exploitations.

✓ **Adapté aux démarche de gestion de l'azote par objectif de résultat (dans le cadre de dispositifs incitatifs (MAEC, PSE) ou les démarches réglementaires)**
- à l'échelle du territoire

Cela permet notamment de développer les connaissances en matière de gestion de l'azote à une échelle hydrographique cohérente, de valoriser l'effort collectif, de situer une exploitation par rapport à une moyenne territoriale et par rapport aux autres exploitants. À l'échelle du territoire, il est néanmoins préférable de parler en termes de teneurs en nitrates de l'eau s'infiltrant en profondeur plutôt qu'en termes d'objectif de REH.

- ✓ **À considérer dans le cadre de toute démarche collective ayant pour objet la restauration et préservation de la ressource en eau.**

La combinaison d'objectifs de REH définis à des échelles spatiales différentes peut être envisagée.

!

Le nombre de mesures de REH requises au sein des cahiers des charges MAEC ciblées sur les enjeux fertilisation, est de 1 REH pour 20 ha de surfaces de colza oléoprotéagineux. Dans certain cas, il n'est pas certain que ce nombre de mesures suffise à couvrir l'ensemble des situations observées sur l'exploitation, mettant ainsi à mal la notion de REH moyen à l'exploitation. Il peut ainsi être envisagé de réaliser plus de mesures puis de calculer le REH moyen de l'exploitation sur la base de successions identifiées comme représentatives et impactantes pour la ressource.

3. À quelle échelle temporelle raisonner ?

La réalisation d'un suivi des valeurs de REH plusieurs années en amont du lancement d'une démarche permet :

- d'appréhender la manière dont le sol réagit vis-à-vis des flux d'azote ;
- d'estimer la plage de valeurs de REH moyenne sur le territoire, de manière à définir un objectif de REH cohérent, qui concilie réalisme et ambitions agroenvironnementales (Fiche 3) ;
- d'estimer le nombre d'horizons à prélever pour chaque exploitation ou chaque type de parcelle (Fiche 3) ;
- d'identifier des situations agronomiques (successions ou pratiques culturales à risque pertinentes) à étudier ;
- de faciliter l'implication des agriculteurs dans la démarche en leur apportant de la visibilité quant à l'effort à fournir pour passer du reliquat actuel, connu grâce à la précampagne, à l'objectif de REH fixé par l'opérateur ;
- de permettre à l'opérateur du territoire de se familiariser progressivement à l'indicateur dans le but de déployer une organisation et un accompagnement adaptés à la démarche et au territoire.

Dans la plupart des expérimentations réalisées qui impliquent la mesure de REH, il est pertinent de mener une période d'étude préalable de deux ans a minima, l'idéal étant de pouvoir la mener sur le temps d'une rotation complète.



Le calcul du REH à l'échelle de l'exploitation sur la base de moyennes glissantes sur 2 ou 3 années peut être envisagé afin de contrer l'effet année.

➔ **Pour aller plus loin :** Ferrané Claudine, Paravano Claudette, Prost Lorène, Reau Raymond. 2020. Piloter un territoire selon une logique de résultat pour la qualité de l'eau – Guide pour une gestion dynamique du projet d'une AAC à enjeu "nitrate", INRAE – OFB, 54 p.

Focus MAEC

- Bénéficier de données de REH préalables à la mobilisation de la MAEC ;
- Spécifier les conditions de calcul utilisées pour fixer l'objectif de REH. L'opérateur doit notamment préciser : quelles successions sont prises en compte, nombre d'horizon retenus, règle de calcul de la moyenne pondérée....
- Fixer un objectif de REH à atteindre à l'échelle de l'exploitation, commun à l'ensemble du territoire ;
- Le REH de l'exploitation correspond à une moyenne pondérée des REH mesurés par la surface des cultures ou successions culturales présentes de manière significative au sein des parcelles engagées ou terres arables de l'exploitation, ou du territoire de projet (fixer un seuil arbitraire au-delà duquel on considère que la représentativité est suffisante). Il peut être envisager d'écarter les successions les moins impactantes pour cibler les situations à plus fort enjeu ;
- Favoriser le recours à la modélisation pour calculer un objectif de REH compatible avec les objectifs de préservation et de restauration de la ressource fixés par le territoire.

Pour aller plus loin sur le modèle de Burns

L'équation du modèle de Burns

Ce modèle admet un mélange couche par couche de l'eau drainée. Il ne peut être mis en œuvre qu'à partir du moment où la réserve en eau du sol est remplie (début de la période de drainage).

Sous sa forme finale et simplifiée, l'équation du modèle s'écrit :

$$f = \left(\frac{Ed}{Ed + V_m/100} \right)^x$$

avec :

f = $N_{\text{lessivé}}/N_{\text{initial}}$, fraction d'azote lessivé

Ed = eau « drainante » en cm

V_m = capacité au champ en % volumique

x s'exprime en cm

$x = h$ (hauteur du profil) si les nitrates sont à la surface du sol

$x = \frac{1}{2} h$ si les nitrates sont uniformément répartis sur tout le profil

$x = h - \frac{1}{2} w$ ($w \leq h$) si les nitrates sont uniformément répartis sur une profondeur w à partir de la surface.

Exemples d'utilisation du modèle de Burns

- Chambre d'agriculture du Loiret. 2012. Estimation de la teneur en Nitrate de l'eau s'infiltrant à partir d'un échantillon de parcelles situées en zone vulnérable sur le périmètre du Sage de Beauce Hivers 2011-2012, 31p
- Chambre d'agriculture d'Eure-et-Loir. 2021. Observatoire des reliquats azotés AAC Grenelle d'Eure-et-Loir. Suivis de campagne 2020-2021, Modélisation des lames drainantes. 74p.

➔ **Pour aller plus loin sur le modèle de Burns :** Lafleur P., Bourgeois A. 1989. *Information azote destinée aux agriculteurs. Propositions techniques pour la mise en place d'opérations locales.*

Fiche 4. Comment organiser le suivi des indicateurs et l'atteintes des objectifs ?

Le suivi de la démarche mobilisant le reliquat repose sur l'exploitation des valeurs de REH. Cela nécessite de recueillir des données venant compléter et expliquer les informations délivrées par le REH sur la gestion de l'azote au sein du territoire. Ces données sont ensuite utilisées pour échanger avec les agriculteurs sur l'impact de leurs pratiques sur la dynamique de l'azote.

1. Capitalisation des données

Comment construire la base de données ?

Les modalités de suivi des dispositifs mobilisant le REH nécessitent d'être établies en amont du lancement des démarches et en concertation avec les acteurs des territoires. Il est primordial d'accompagner les résultats de REH par le suivi des champs suivants :

- Données d'identification de la parcelle (code parcelle, coordonnées GPS, commune) et de l'exploitation (BAC, adresse, etc.) ;
- Caractéristiques de la parcelle : surface, teneur en matière organique, type de sol, profondeur, réserve utile... ;
- Type de cultures ;
- Cultures précédentes ;
- Interventions sur le couvert : type de couvert, dates de semis et de destruction, réussite.

Il est conseillé de compléter la base de données par :

- Des données climatiques : température, pluviométrie...
- Des informations sur les pratiques agronomiques (forme d'azote, date et quantité d'apport par fertilisation, travail du sol, etc.) ;
- Des observations sur le développement des cultures ;
- Des indicateurs relatifs à la dynamique de l'azote (RSH, stocks de carbone et d'azote organique du sol, etc.).

Certaines de ces informations sont transmissibles uniquement par l'agriculteur et peuvent être longues à récupérer.

Il n'y a pas de manière universelle de structurer cette base de données. Il convient cependant de respecter quelques recommandations de base qui faciliteront son interprétation, a minima assurer l'homogénéité des données. Les recommandations sont détaillées dans le Guide pour une gestion dynamique du projet d'une AAC à enjeu nitrates publié par l'INRAE et l'OFB.

Les indicateurs intéressants à associer au REH

Pour accompagner les mesures de REH et permettre de faciliter l'analyse des résultats obtenus les animateurs de territoires peuvent recourir aux :

- **Indicateurs observés** : ils comprennent entre autres l'enregistrement des pratiques agricoles (date de semis et destruction du couvert, cultures semées, conduite de la fertilisation, de l'irrigation, rendement...) et les observations au champ telle que la couleur des repousses ;
- **Indicateurs calculés ou modélisés** : aspects liés aux flux d'azote tels que la dynamique de minéralisation, l'absorption d'azote par les cultures ou la dénitrification ;
- **Indicateurs permettant d'évaluer l'impact** économique de changement de pratiques sur les exploitations ;
- **Indicateurs mesurés**, qui sont les plus utilisés, tels que :
 - L'évaluation de la biomasse des couverts d'interculture. La biomasse peut être mesurée ou estimée visuellement avec une grille ad hoc. Elle donne une estimation de la quantité d'azote absorbée par le couvert végétal. L'évaluation de la biomasse aérienne peut être couplée avec la mesure de la teneur en azote des parties aériennes, ce qui permet (i) d'avoir une estimation plus précise de la quantité d'azote absorbée par le couvert et (ii) de déterminer un INN et d'évaluer ainsi le niveau de l'alimentation azotée du couvert (depuis une carence jusqu'à une alimentation non limitante). Pesée de biomasse et REH sont des indicateurs complémentaires en ce qu'ils permettent, en cas de REH supérieur à l'objectif.
 - Le reliquat post absorption (RPA). Il mesure la quantité d'azote minéral présente dans le sol à la fin de l'absorption d'azote par la culture en place. Il constitue un indicateur de l'azote non utilisé par la culture et permet donc une évaluation grossière d'une bonne gestion de la fertilisation (si on néglige les pertes gazeuses et par lessivage). Il peut être comparé au terme Rf (quantité d'azote minéral dans le sol à la fermeture du bilan) utilisé pour l'écriture du bilan prévisionnel d'azote. Cet indicateur est facilement compris et pris en main par les agriculteurs, ce qui en fait un outil d'accompagnement pertinent dans la gestion de l'azote.
 - Le reliquat sortie hiver (RSH) représente la quantité d'azote minéral dans le sol à la sortie de l'hiver. L'indicateur permet d'ajuster la fertilisation en fonction de l'azote minérale disponible dans le sol¹⁸.

¹⁸ Il correspond au terme Ri (quantité d'azote minéral dans le sol à l'ouverture du bilan) utilisé pour l'écriture du bilan prévisionnel d'azote.



La différence entre le REH et le RSH ne permet pas d'estimer avec précision la quantité d'azote lixiviée puisque ce calcul ne prend pas en compte les phénomènes de minéralisation/immobilisation par le sol et l'absorption d'azote par les cultures entre le début et la fin de la période de drainage.

Dans le cadre d'une démarche par objectif de résultat visant une adaptation systémique des pratiques agricoles¹⁹ la base de données peut-être complétée par :

- Des indicateurs sur l'efficacité environnementale des pratiques mise en place : climatiques : indicateur visant à évaluer les fuites d'ammoniac dans l'air, concentration en phosphore, etc...
- Des indicateurs permettant d'évaluer, à l'échelle de l'exploitation, l'impact économique des pratiques mise en place.



L'APM, ou azote potentiellement minéralisable, est un indicateur qui évalue la vitesse potentielle de minéralisation de l'azote présent dans le sol. Certaines parcelles des baies algues vertes présentant des valeurs de REH radicalement différentes, la DRAAF Bretagne a décidé, à l'aide de l'outil Sol-AID, d'utiliser l'indicateur APM dans le but d'évaluer la capacité des sols à minéraliser. Cet indicateur, qui intègre l'influence de l'historique des apports organiques et des prairies, est particulièrement approprié au contexte local. Il permet de discriminer les zones à faibles et forts flux de minéralisation, et par conséquent permet aux animateurs d'apporter des conseils de fertilisation plus appropriés. Pour les parcelles qui présentent une minéralisation des sols très importante, il peut conduire à remettre en cause le plan d'épandage adopté par l'exploitant.

2. Quelle valorisation et quel accompagnement du REH auprès des agriculteurs ?

Les démarches dont il est question dans cette partie reposent sur les résultats des mesures de REH et non sur l'adoption de bonnes pratiques agricoles. Si le REH est lié aux pratiques agricoles, il est également le résultat de la minéralisation du sol, qui découle à la fois du contexte pédoclimatique et des pratiques agricoles. Le reliquat obtenu résulte donc d'une combinaison de facteurs en interaction permanente. L'animateur en charge de la valorisation des résultats peut être amené à le rappeler lors des différents moments d'échange avec l'agriculteur.

¹⁹ Dans le cadre de l'expérimentation Innov'Azote par exemple.



Le REH n'est pas le reflet direct des pratiques de fertilisation. Il dépend aussi très fortement des flux d'azote entre la récolte de la culture précédente et le prélèvement du REH : minéralisation, absorption, réorganisation... L'objectif premier du REH est d'estimer un risque de fuite de nitrates. Ce n'est pas d'évaluer a posteriori l'équilibre de la fertilisation azotée de la culture précédente. Il est difficile de conclure à une situation de surfertilisation ou de sous-fertilisation sur la seule base de la seule valeur de REH.

L'existence d'une incertitude sur la mesure du REH ne doit pas remettre en cause sa pertinence (Fiche 2), elle doit cependant être intégrée aux réflexions ou démarches mobilisant l'indicateur.



Un REH élevé ne s'explique pas nécessairement par l'existence de cette incertitude, notamment, si ce résultat est observé plusieurs années d'affilée.

La nécessité de l'animation autour du REH

L'intérêt de la mesure de REH est d'inciter l'exploitant à réfléchir à la manière dont il peut adapter ses pratiques au contexte pédoclimatique annuel propre à chaque parcelle en construisant une trajectoire de réduction des pertes de nitrates grâce à la mise en place de différents leviers agronomiques.

La valorisation des résultats de REH nécessite de développer un accompagnement auprès des agriculteurs. L'animateur de territoire est chargé de mettre en place les temps et les espaces de réflexion dédiés aux exploitants. Pour structurer son action, il peut s'appuyer sur des outils d'accompagnement et d'animation dédiés tels que : le tableau de bord, Ecophyt'eau extension nitrates...

→ Voir l'encadré pour aller plus loin sur les outils d'animation et d'accompagnement

S'appuyer sur la dynamique des agriculteurs qui sont les plus engagés dans la démarche peut être opportun pour servir d'exemple et encourager l'adhésion de leurs collègues. L'implication directe des agriculteurs dans l'élaboration des plans d'actions à mettre en place pour limiter les pertes en nitrates augmente l'acceptabilité des mesures proposées.

Structuration d'un observatoire de reliquats en Haut-de-France

La DREAL Hauts-de-France a lancé en 2021 un appel à projet ayant pour finalité de structurer un réseau régional d'animation, de mesures et suivi des reliquats. L'objectif de ce projet est d'obtenir une vision générale du déploiement du REH, constituer une base de données communes et ainsi valoriser les connaissances générées. Cette base de donnée pourra servir de support à l'animation des réflexions collectives sur les enjeux nitrates.

La chambre d'agriculture Hauts-de-France, en partenariat avec Terres Innovia et l'UniLasalle, a été retenue pour mener à bien ce projet.

Suivi annuel du REH auprès des agriculteurs

L'animateur de territoire dispose de différentes méthodes d'accompagnement des agriculteurs, parmi lesquelles :

- ❖ Analyse individuelle des résultats et échange sur les pratiques

Fournir aux agriculteurs engagés dans la démarche des éléments permettant de recontextualiser les résultats de leur mesure de REH est indispensable. Ce retour peut se faire sur la base d'une fiche récapitulative contenant *a minima* la moyenne de REH sur l'exploitation et le détail des valeurs par parcelle. L'accompagnement des agriculteurs dans l'analyse des REH obtenus est conseillé. Ces résultats doivent être présentés de manière à faciliter l'interprétation et l'appréhension du résultat par les agriculteurs. L'exploitation des mesures de REH peut se faire par comparaison des seules parcelles de l'agriculteur entre elles, mais aussi en relation avec les cultures développées dans un contexte similaire par les autres exploitants engagés dans la démarche.

Exemple : Ecophyt'eau extension Nitrates

Un outil d'aide à la co-construction a été développé par les CIVAM en lien avec l'INRAe, l'OFB, et d'autres acteurs experts de la problématique. Cet outil, construit sous forme de jeu, a pour objectif d'aider les participants à appréhender le changement de système et ainsi généraliser les systèmes économes en intrants. Il s'adresse en particulier à des agriculteurs, techniciens, animateurs, conseillers et étudiants.



La présentation des résultats peut se faire sous forme d'un histogramme montrant l'objectif de REH et l'azote en jeu sur chaque parcelle, en différenciant la part due au reliquat et celle contenue dans la biomasse du couvert végétal. Cet outil peut servir de support d'échange avec l'exploitant : il lui permet de comprendre dans quelle mesure les différents aspects de la gestion de l'azote ont été bien effectués sur la parcelle, et de faire un lien avec les pratiques culturales déployées.

- ❖ Comparaison du reliquat moyen de l'exploitation avec celui des agriculteurs voisins

Effectuer une comparaison des résultats de l'exploitation avec ceux des exploitations du territoire constitue un outil pédagogique intéressant. Cette comparaison n'est néanmoins pertinente que pour les exploitations présentant un contexte pédoclimatique et pour un assolement similaire à celui que l'agriculteur connaît sur son exploitation, *a priori* à proximité géographique de ses parcelles. Il convient là aussi de présenter les résultats de façon à ce que l'agriculteur puisse situer sa parcelle ou son exploitation parmi celles du territoire.

- ❖ Circuit des couverts

En amont de la réception des résultats, l'animateur peut choisir d'organiser un tour de parcelle afin de réaliser un diagnostic du risque de lixiviation des nitrates à partir des observations faites dans les champs. Il s'agit d'encourager les agriculteurs à estimer l'azote présent dans les champs sur la base de leurs observations sur l'état des couverts. Ce diagnostic s'accompagne d'un temps de réflexion sur les pratiques agricoles qui ont conduit aux résultats observés. Ce type de circuit est un bon vecteur d'échange entre les agriculteurs.

- ❖ Réunion collective de présentation des résultats

L'animateur réunit les agriculteurs autour des résultats collectifs, en s'appuyant sur le tableau de bord ainsi que sur certains résultats individuels observés à la parcelle. Les exploitants sont amenés à se questionner sur les résultats, individuels et collectifs, obtenus au regard de l'objectif fixé à l'échelle de l'exploitation et du territoire. Les agriculteurs échangent alors sur les pratiques qui ont fonctionné sur le territoire et, le cas échéant, les éventuelles innovations à mettre en œuvre.

3. Les moyens nécessaires au suivi de la démarche

Moyens humains

La plupart des moyens humains sont consacrés à l'animation du territoire. Le rôle de l'animateur est primordial :

- en amont de la campagne de prélèvement, il réalise la sélection des parcelles à prélever, la vérification des fichiers parcelles ou encore l'obtention de l'autorisation de prélever sur telle parcelle de l'exploitation (il faut également vérifier qu'aucun réseau de type réseau électrique n'est déployé sous la parcelle) ;
- après réception et validation des résultats de REH, il analyse et interprète ceux-ci avec les agriculteurs.

L'augmentation du nombre de mesures de REH représente donc une charge administrative et technique supplémentaire non négligeable.

Il est important de bien estimer la charge de travail qui dépend à la fois du nombre d'agriculteurs engagés et de la surface considérée. Ces deux paramètres peuvent notamment avoir des conséquences sur le temps de préparation nécessaire en amont (choix des parcelles, élaboration de la base de données, ...) et le temps passé en rendez-vous. Il devient difficile pour un animateur de traiter plus de 6000 ha de SAU à lui seul. Cependant l'activité d'animation dévolue à une seule personne peut être plus restreinte, notamment quand les territoires disposent déjà d'un réseau d'animation faisant intervenir spécifiquement un animateur pour chaque AAC.

Moyens financiers

Les moyens financiers nécessaires au déploiement du REH dépendent de : l'objectif et l'ambition de la démarche (démarche incitative, acquisition de connaissance, etc...), la taille du territoire concerné, le nombre d'agriculteurs engagés. L'estimation des moyens à allouer doit notamment intégrer : le financement de l'animation et les analyses de REH.

Le coût moyen d'un prélèvement et d'une analyse de REH dépend du nombre d'horizons prélevés et du nombre total d'analyses. Il est généralement compris entre 50 et 75 euros. L'analyse seule revient en moyenne entre 20 et 30 euros.

Plusieurs types de financement sont mobilisables dans le cadre du déploiement de l'indicateur :

- Pour le financement de l'animation : GIEE, agence de l'eau, chambre d'agriculture dans le cadre des programmes régionaux de développement agricole et rural (PRDAR)...
- Pour le financement d'analyse allant au-delà de la réglementation PAN ou des engagements MAEC : GIEE, agence de l'eau, PRDAR...

Au titre de leurs compétences, les collectivités (département, région, établissement public de coopération intercommunale, commune, ...) peuvent apporter un appui technique et/ou financier aux projets (assistance technique, financement d'études, d'animation...)

➔ *Pour aller plus loin : Ferrané Claudine, Paravano Claudette, Prost Lorène, Reau Raymond. 2020. Piloter un territoire selon une logique de résultat pour la qualité de l'eau – Guide pour une gestion dynamique du projet d'une AAC à enjeu "nitrate". INRAE – OFB, 54p.*

Les indispensables

- Définir les modalités de suivi en amont du lancement de la démarche déployant le REH (nature des indicateurs suivis, organisation de la remontée des données, ...)
- Dimensionner l'animation en lien avec l'ambition et la nature du projet.
- Utiliser le tableau de bord comme support de suivi et d'animation des démarches REH par objectif de résultats.

Pour aller plus loin sur les outils d'animation et d'accompagnement

Le **tableau de bord** est un outil synthétique d'aide à la décision qui peut être utilisé dans la gestion de projet et l'animation de territoire :

- En tant qu'outil stratégique, il permet d'évaluer l'avancement d'un projet de territoire et d'identifier les points de blocage ;
- En tant qu'outil d'accompagnement des agriculteurs, il constitue un support de réflexion sur la gestion de l'azote.

Il a pour but de définir et de faciliter le suivi des étapes intermédiaires permettant d'aboutir aux objectifs de REH et de qualité de l'eau. Le tableau de bord permet la comparaison entre ce que l'exploitant obtient et les résultats souhaités pour atteindre l'objectif de bonne qualité des masses d'eau. En raison de son importance, ce dernier doit figurer en premier dans le sens de lecture.

Les étapes intermédiaires peuvent concerner entre autres la gestion de couverts et les pratiques de fertilisation. L'utilisation d'indicateurs de résultats intermédiaires ou de suivi des pratiques permet de faciliter l'identification des postes sur lesquels se concentrer pour atteindre les objectifs finaux fixés. Le tableau de bord n'a pas vocation à reprendre de manière exhaustive l'ensemble des indicateurs utilisés et suivis par l'animateur. Biomasse, travail du sol ou période de présence des couverts et leur niveau de développement peuvent être utilisés pour interpréter les résultats.

Les objectifs associés à chaque étape peuvent être progressifs, et intégrer un niveau intermédiaire pour lequel le REH est considéré comme acceptable. Cela permet de ne pas décourager les agriculteurs qui ont amélioré leur résultat de reliquat sans toutefois parvenir à l'objectif de REH.

Pour rester facilement manipulable, le tableau de bord doit demeurer simple. Les étapes intermédiaires qui y figurent sont les pratiques clés visant à limiter les pertes d'azote majoritairement adoptées par les agriculteurs et adaptées au contexte local. Elles ne constituent en aucun cas des étapes obligatoires et indispensables à l'atteinte de l'objectif.

Le tableau de bord peut prendre la forme suivante :

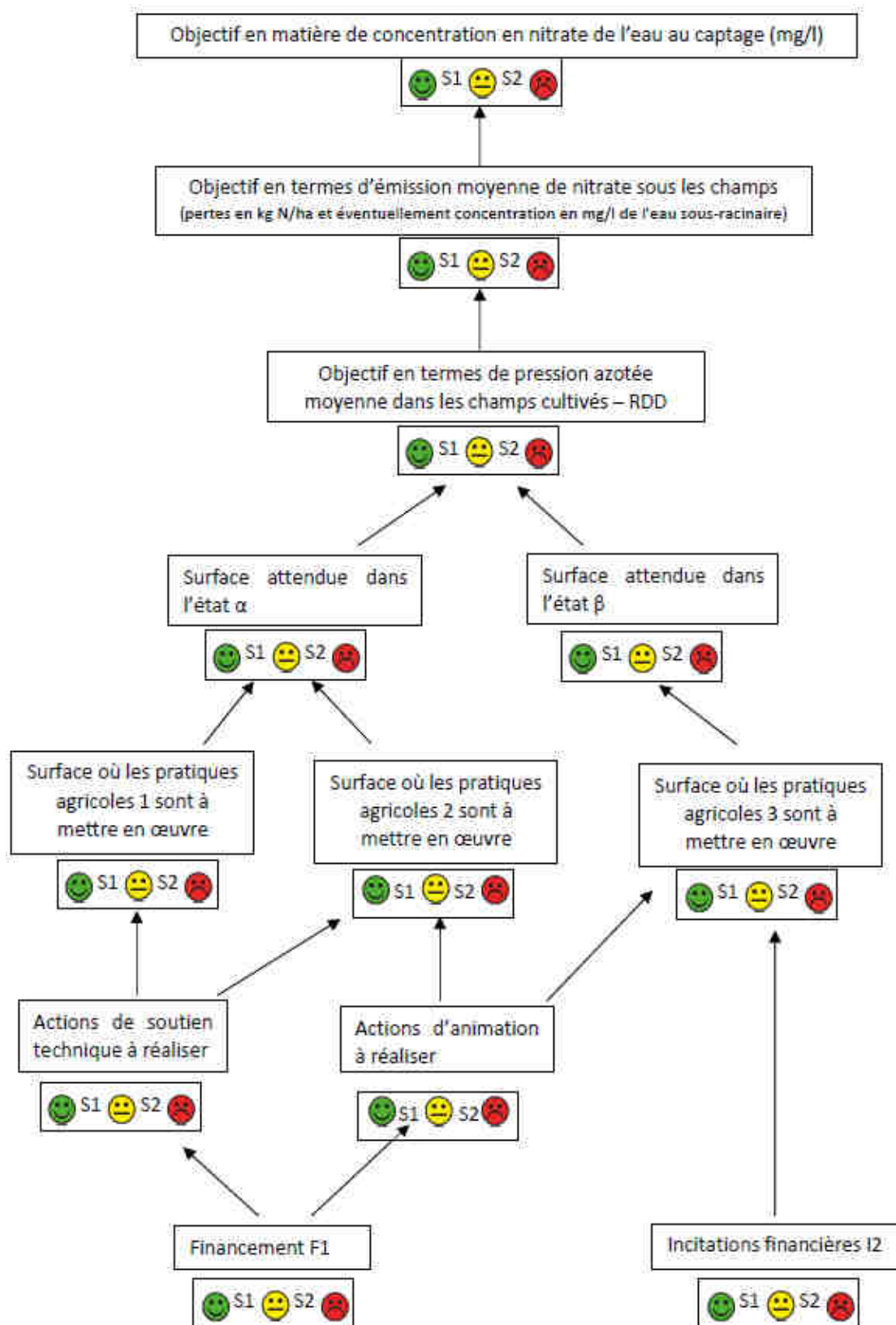
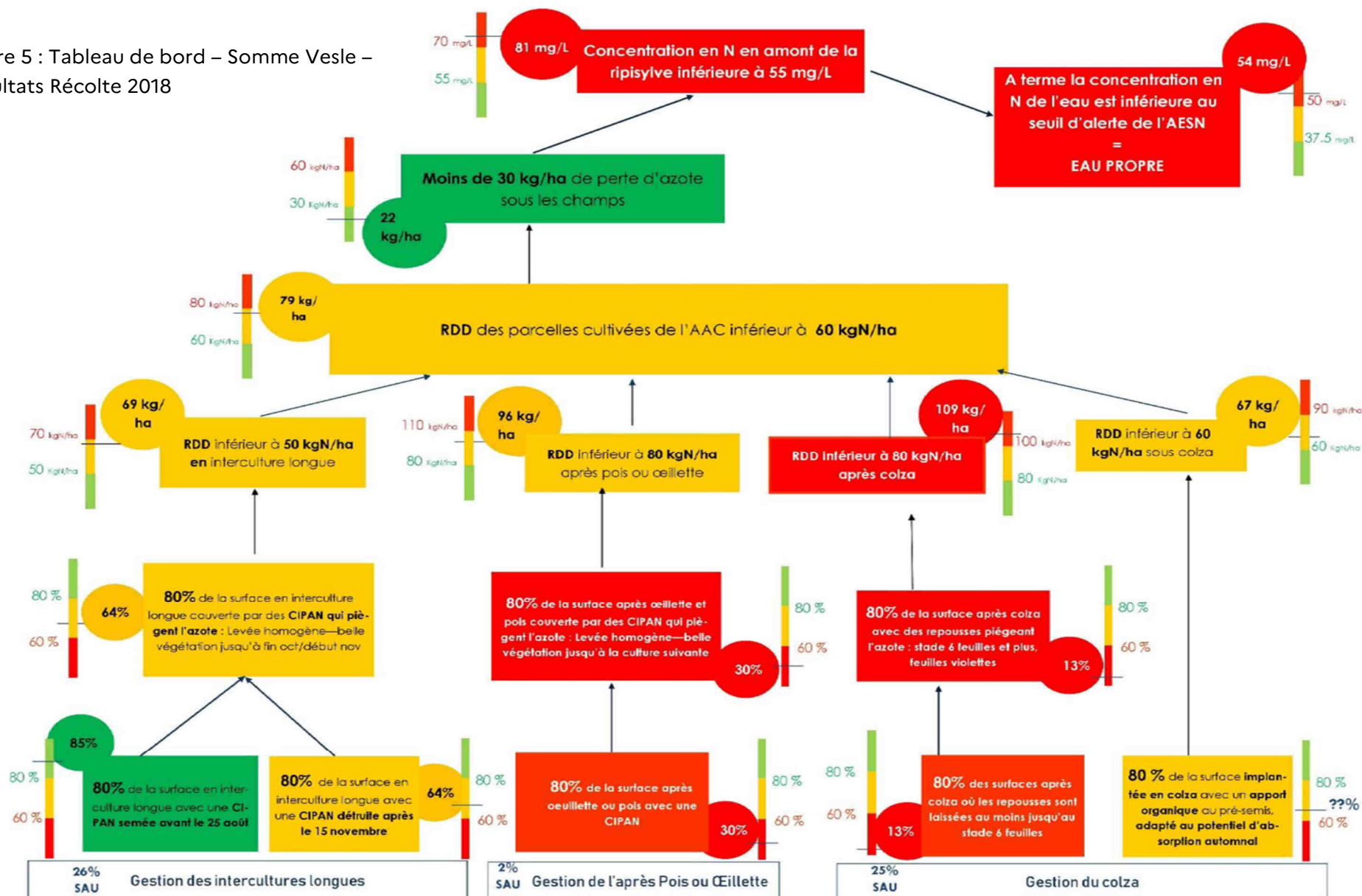


Figure 4 : Structure générique du tableau de bord « nitrate » (non renseigné pour une campagne donnée)

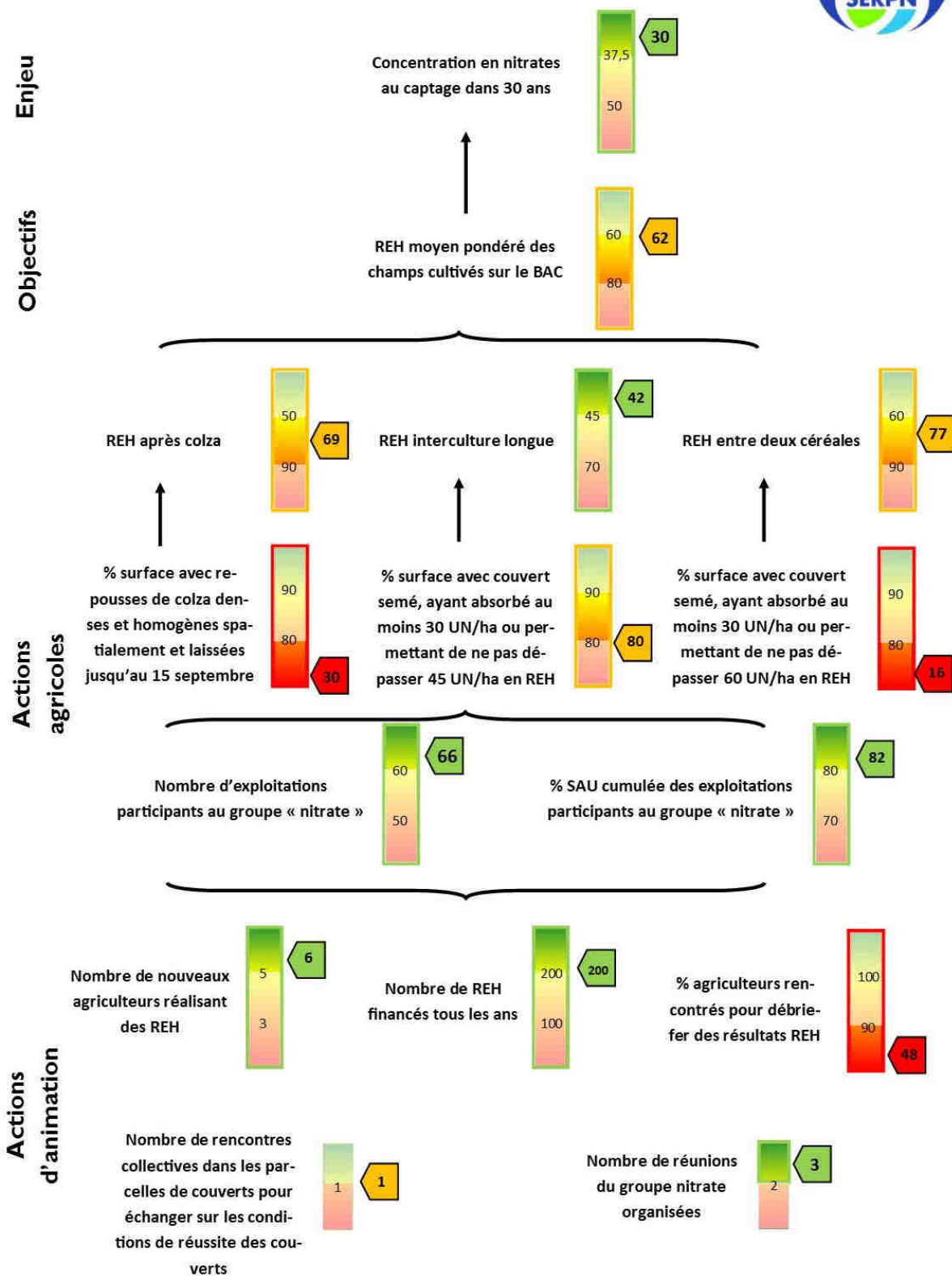
Figure 5 : Tableau de bord – Somme Vesle – Résultats Récolte 2018



Source : Guide pour une gestion dynamique du projet d'une AAC à enjeu nitrate, 2020, INRAE

Figure 6 : Tableau de bord nitrates sur le BAC du Tremblay-Omonville

(Campagne 2018 -2019)



Liste des abréviations

AAC : aire d'alimentation de captage

ACTA : association de coordination technique agricole

BAC : bassin d'alimentation de captage

CIPAN : culture intermédiaire piège à nitrates

COMIFER : Comité Français d'Étude et de Développement de la Fertilisation Raisonnée

CORPEN : Comité d'orientation pour des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement

DCE : directive cadre sur l'eau

DN : directive nitrates

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

GEMAS : groupement d'études méthodologiques pour l'analyse des sols

MAEC : mesure agroenvironnementale et climatique

PAC : politique agricole commune

PAN : programme d'actions national

PAR : programme d'actions régional

PDM : programme de mesures

PGDA : programme de gestion durable de l'azote

PLAV : plan de lutte contre les algues vertes

PSE : paiement pour services environnementaux

PSN : plan stratégique national

REH : reliquat entrée hiver

RPA : reliquat post absorption

RPR : reliquat post récolte

RSH : reliquat sortie d'hiver

SAGE : schéma d'aménagement et de gestion des eaux

SCOP : surfaces en céréales, oléagineux et protéagineux

SDAGE : schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux

ZAR : zone d'action renforcée

ZSCE : zone soumise à contraintes environnementales

ZV : zones vulnérables

Bibliographie

Agence de l'eau Seine-Normandie. 2016. Observatoire des reliquats azotés de Seine-Maritime - Analyse des résultats de reliquats entrée et sortie hiver - Estimation de la teneur en nitrates de la lame drainante - Campagne 2015-2016, 31 p.

Agrotransfert. 2017. Limiter les pertes d'azote par lixiviation pour en disposer pour les cultures suivantes, 2 p.

Chambre d'Agriculture Ariège. 2018. Fiche de calcul de la Réserve Utile et de la Réserve Facilement Utilisable d'un sol. 2 p.

Chambres d'Agriculture France. 2019. Guide de réalisation des synthèses de Reliquats Sortie d'Hiver (RSH), 141 p.

<https://www.calameo.com/read/0027570797d74830a5b29>

Chambre d'agriculture du Loiret, 2012. Estimation de la teneur en Nitrate de l'eau s'infiltrant à partir d'un échantillon de parcelles situées en zone vulnérable sur le périmètre du Sage de Beauce Hivers 2011-2012, 31p.

Comifer. 2002. Lessivage des nitrates en systèmes de cultures annuelles – Diagnostic du risque et propositions de gestion de l'interculture, 41 p.

https://comifer.asso.fr/images/fichiers/Comifer_2002_interculture.pdf

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, 113 p.

CST GENEM. 2021. Avis du Comité scientifique et technique (CST) « Gestion des éléments nutritifs et des émissions vers les milieux » - Alternatives à la balance globale azotée (BGA), 16 p.

Ferrané Claudine, Paravano Claudette, Prost Lorène, Reau Raymond. 2020. Piloter un territoire selon une logique de résultat pour la qualité de l'eau – Guide pour une gestion dynamique du projet d'une AAC à enjeu "nitrate", INRAE – OFB, 54 p.

https://www6.versailles-grignon.inrae.fr/agronomie/content/download/5549/53242/version/1/file/Guide+Gestion+dynamique+AAC_V5F.pdf

Gitton Claude, Kosuth Pascal, Vedeau François, Vissac Philippe. Contribution à l'évaluation des programmes d'actions pour la lutte contre la pollution des eaux par les nitrates d'origine agricole. 2020. Rapport CGEDD n° 013362-01, CGAAER n° 20034, 148 p. <https://igedd.documentation.developpement-durable.gouv.fr/notice?id=Affaires-0011927>

Lafleuriel P., Bourgeois A. 1989. Information azote destinée aux agriculteurs. Propositions techniques pour la mise en place d'opérations locales.

Matteau Jean-Pascal. 2017. Modélisation du lessivage de l'azote en grande culture en champ drainé. Mémoire, Université de Laval, 66 p.

Ministère de la transition écologique et OFB. 2020. Bilan de la mise en œuvre de la directive « Nitrates » en France – période 2016-2019, 318 p.

Moebius-Clune Bianca, et al. 2013. Adapt-N Uses Models and Weather Data to Improve Nitrogen Management for Corn. Better crops with plant foods, vol. 97, pp 7-9.

Morel Albane. 2020. Évaluation des démarches de protection de l'eau fondées sur des objectifs de résultats en matière de fuites d'azote. Mémoire de master l'Institut Agro Montpellier, 198 p.

Morvan Thierry. 2019. Réflexions sur la pertinence et les limites de l'utilisation des reliquats azotés d'automne dans le cadre d'actions d'accompagnement d'agriculteurs vers des « bonnes » pratiques (PLAV2), INRA UMR SAS, 10p. Disponible sur : [\[https://www.creseb.fr/voy_content/uploads/2022/03/Note_reliquats_T_Morvan_nov-2019_addendum.pdf\]](https://www.creseb.fr/voy_content/uploads/2022/03/Note_reliquats_T_Morvan_nov-2019_addendum.pdf)

Organisation mondiale de la Santé. 2017. Directives de qualité pour l'eau de boisson, quatrième édition, 631 p.

Reau Raymond, Bedu Magali, Ferrané Claudine, Gratecap Jean-Baptiste, Soizic Jean-Baptiste, et al.. 2017. Evaluation des émissions de nitrate par les champs pour la conception de projets de territoire et l'accompagnement de la transition en aires d'alimentation de captage. Innovations Agronomiques, INRAE, vol. 57 (Juin 2017), pp.99-115.

Vandenberghe Christophe. 2016. Performance de l'indicateur Azote Potentiellement Lessivable pour l'évaluation de la gestion du nitrate en agriculture et du risque pour la qualité de l'eau (thèse de doctorat). Gembloux, Belgique. Université de Liège – Gembloux Agro-Bio Tech, 222 p.

Le Gall C., Reau R. et al., 2021. Guide de diagnostic des pertes d'azote dans les systèmes de culture. Projet CASDAR Agro-éco-Syst'N N° 5611. <http://www.rmt-fertilisationetenvironnement.org/moodle/course/view.php?id=146>

Direction générale de la performance économique
et environnementale des entreprises (DGPE)

Février 2023