

## Les travaux des GREN, révélateurs de controverses autour de la méthode du bilan

Clémence Ravier<sup>1,2</sup>, Marie-Hélène Jeuffroy<sup>1,2</sup>, Jean-Marc Meynard<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> INRA UMR211 Agronomie, BP 01, 78850 Thiverval-Grignon, France

<sup>2</sup> AgroParisTech, UMR211 Agronomie, BP 01, 78850 Thiverval-Grignon, France

<sup>3</sup> INRA UMR1048 SAD-APT, BP 01, 78850 Thiverval-Grignon, France

<sup>4</sup> AgroParisTech, UMR1048 SAD-APT, BP 01, 78850 Thiverval-Grignon, France

### 1. Introduction

Depuis plusieurs décennies, en France, un consensus s'est établi autour de la méthode du bilan pour calculer les doses totales d'engrais azoté à apporter aux cultures. La méthode, basée sur un bilan d'azote minéral entre les fournitures du sol, l'engrais et les besoins de la culture (Hébert, 1969), est supposée garantir une nutrition azotée non limitante de la culture tout au long de son cycle et minimiser les pertes d'azote vers l'environnement en évitant les situations de sur-fertilisation (Comifer, 2013). Depuis sa création en 1980, le Comifer met régulièrement à jour le « *Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales* » pour faciliter la mise en œuvre de cette méthode sur l'ensemble du territoire français. De nombreux travaux de recherche et développement ont été menés pour adapter la méthode et faciliter son usage dans une diversité de situations. Ils ont donné lieu à des modifications du modèle ou à des propositions sur la manière d'estimer certains termes de l'équation, notamment la quantité d'azote dans le sol à l'ouverture du bilan (Recous et al., 1997 ; Limaux, 1999). Aujourd'hui la méthode se décline selon 2 équations: l'équation du bilan de masse et l'équation d'efficacité (Meynard et al., 1997 ; Comifer, 2013). La méthode du bilan est une méthode rigoureuse, fondée sur un modèle mathématique proposé par des scientifiques, acceptée de façon consensuelle par les organismes de développement et de nombreux agriculteurs, et largement diffusée dans tout le secteur agricole français. Une réforme de l'application de la directive 91/676/CEE dite directive « nitrates » a été engagée par la France à la demande de la Commission européenne. Le décret n°2001-1275 du 10 octobre 2011 relatif aux programmes d'actions à mettre en œuvre en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole a conduit à adopter la méthode du bilan comme outil réglementaire pour l'application de cette directive en zone vulnérable. Dans cette perspective, en 2012, les Pouvoirs Publics ont démarré un travail d'homogénéisation, à l'échelle régionale, des références nécessaires au paramétrage et à la mise en œuvre de la méthode (MEDDE et MAAF, 2013).

L'étude présentée ici est basée sur l'hypothèse que, malgré le consensus existant autour de la méthode du bilan, l'analyse de ses usages peut révéler des controverses sur son paramétrage et sa mise en œuvre, et ainsi donner des bases pour la formalisation d'une nouvelle méthode tenant davantage compte des utilisateurs (Cerf et al., 2012). La rigueur et la qualité scientifique d'une méthode ne garantissent en effet pas sa facilité de mise en œuvre, comme cela a pu déjà être montré pour de nombreux modèles pour l'action (Prost et al., 2012). Sur la base de deux sources d'information complémentaires (les rapports officiels des Groupes Régionaux d'expertise Nitrates (GREN) et des enquêtes conduites auprès de différents acteurs du secteur agricole), nous avons identifié plusieurs controverses sur la mise en œuvre de la méthode du bilan et nous discutons les fragilités qu'elles révèlent.

### 2. Matériel et Méthodes

Dans le cadre des programmes d'actions régionaux visant à renforcer localement les mesures du programme national, des Groupes Régionaux d'expertise « Nitrates » (GREN) ont été créés. Ils sont composés de représentants régionaux des acteurs de la filière agricole, de l'enseignement et de la

recherche, des agences de l'eau et des services déconcentrés de l'Etat (article R.211-81 du code de l'Environnement). A partir des recommandations du Comifer, chaque GREN a dû (entre le premier semestre 2012 et Juillet 2013) définir une écriture opérationnelle de l'équation du bilan et la décliner pour chaque culture présente dans les zones vulnérables de la région. Chaque groupe avait à fournir les références techniques nécessaires à l'élaboration d'un référentiel régional homogène faisant foi de règles de calcul des doses d'engrais : « Cette règle de calcul devra prioritairement prendre la forme d'une écriture simplifiée de la méthode du bilan prévisionnel selon les méthodes développées par le COMIFER, accompagnée de toutes les références nécessaires à son paramétrage pour les parcelles présentes dans la zone vulnérable, y compris s'agissant des valeurs de rendement objectif par défaut observables dans la zone vulnérable : tous les éléments nécessaires au calcul doivent être disponibles dans le référentiel pour couvrir l'éventualité où des références manqueraient sur une exploitation donnée » (Lettre de mission adressée aux GREN).

Notre analyse a porté sur les arrêtés préfectoraux édités en 2012 et leur mise à jour en 2013, ainsi que sur les rapports et comptes rendus de réunion des groupes, qui comportent des commentaires et des recommandations supplémentaires issus des experts. Le bilan étant un modèle additif, chaque terme de l'équation peut être estimé indépendamment des autres. Les experts ont donc travaillé sur les termes, un par un, avec l'objectif d'optimiser le paramétrage de chacun. Nous avons reporté, pour chaque GREN, les commentaires relatifs à chaque paramètre de l'équation et nous avons identifié les sujets qui portaient à débat entre experts d'une même région. Nous avons ensuite comparé la nature des débats entre les différentes régions dans le but d'identifier les sujets de débats récurrents et les controverses qu'ils révèlent. Cette analyse a été complétée par des enquêtes individuelles avec quelques experts des GREN, des conseillers agricoles et des agriculteurs dans différentes régions (Tableau 1).

**Tableau 1. Enquêtes réalisées pour l'étude: nombre d'interview par type d'acteur et régions.**

|                  | Membres de GREN          |                        |                         | Recherche<br>Enseignement | Agriculteurs & conseillers<br>& Agriculteurs<br>Conseillers |   |
|------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|---|---|
|                  | Chambre<br>d'Agriculture | Instituts<br>Technique | Coopérative<br>Agricole |                           |   |   |
| Bourgogne        | 3                        | 1                      | 1                       | 1                         | 6   | 3 |
| Bretagne         | 2                        | 1                      | 1                       | 1                         |   | 2 |
| Haute-Normandie  | 1                        |                        |                         |                           | 12  | 8 |
| Provence         |                          | 1                      |                         |                           | 7   | 2 |
| Centre           | 1                        |                        |                         |                           |   | 2 |
| Ile de France    |                          |                        |                         | 1                         |   |   |
| Pays de la Loire |                          | 1                      |                         |                           |   |   |
| Aquitaine        |                          |                        |                         | 1                         |   |   |
| Lorraine         | 1                        |                        |                         |                           |   |   |
| National*        |                          | 1                      | 1                       | 1                         |   |   |

\* GREN qui regroupe les représentant des institutions à l'échelle nationale.

### 3. Résultats

L'analyse des rapports des GREN montre que d'assez nombreux termes du bilan sont sources de débats : les besoins en azote du blé par unité de production (b) ; l'azote absorbé par la culture à l'ouverture du bilan (Pi) ; la méthode d'estimation de la minéralisation nette de l'humus (Mh) ; l'azote apporté par l'irrigation (Nirr) ; l'azote minéral issu des engrais organiques (Xa) ; le coefficient apparent d'utilisation (CAU) ou la majoration de la dose dans le cas des engrais en solution. Chacun de ces points étant remonté dans un petit nombre de GREN uniquement, nous avons centré l'analyse sur les 2 sujets les plus récurrents : l'estimation de l'objectif de rendement (y) ; l'analyse de sol pour estimer la quantité d'azote minéral dans le sol à l'ouverture du bilan (Ri). Un troisième sujet est souvent ressorti des enquêtes et a donc été également analysé : les conséquences, sur l'amélioration de la gestion de la fertilisation azotée, d'avoir rendu réglementaire l'utilisation de la méthode du bilan. Les entretiens ont été menés avec l'objectif de se concentrer sur ces 3 controverses.

### 3.1. La controverse sur l'objectif de rendement: "Espérance de rendement" ou "rendement espéré"?

Avec la réforme du programme d'action national pour la mise en œuvre de la Directive Nitrates, une règle de calcul de l'objectif de rendement a été introduite au niveau national : « *L'objectif de rendement sera calculé comme la moyenne des rendements réalisés sur l'exploitation pour la culture ou la prairie considérée et, si possible, pour des conditions comparables de sol au cours des cinq dernières années en excluant la valeur maximale et la valeur minimale* » (Arrêté du 19 décembre 2011). Le gouvernement poursuivant l'objectif de limiter l'épandage de fertilisants pour garantir l'équilibre de la fertilisation azotée, cette règle est un compromis entre les risques de sur-fertilisation et de sous-fertilisation. Cette règle est au centre de la controverse.

#### 3.1.1. Les débats sur la règle nationale imposée

Pour une partie des experts des GREN et des acteurs enquêtés, estimer l'objectif de rendement suivant la règle imposée n'est pas perçue comme la meilleure façon de mettre en œuvre la méthode du bilan. Nous avons trouvé une diversité d'arguments démontrant que la stricte utilisation de la règle proposée pourrait avoir des répercussions sur la production. Le premier champ argumentaire concerne le risque de ne pas atteindre les potentialités de la parcelle, risque d'autant plus fort une année climatique favorable qui arriverait à la suite d'une série d'années défavorables (encadré 1 [1,3,4,7,9]). Cette règle est également vue comme favorisant le risque de stagnation des rendements, voire même d'une baisse irréversible (encadré 1 [1,2,4,8,10]). Les autres arguments principaux concernent le fait que la règle ne prend pas en compte le progrès génétique (encadré 1 [4,5,7,8,9,10]) et le risque d'être en situation de nutrition azotée insuffisante pour atteindre une teneur en protéine en adéquation avec les exigences des marchés (encadré 1 [6,9]). Mais la règle est aussi remise en question parce qu'elle ne permet pas de prévenir des risques de sur-fertilisation « *si l'on fixe comme l'objectif de rendement la médiane des rendements observés, une année sur deux on aura un rendement effectif inférieur à l'objectif. Cela signifie qu'une année sur deux, on aura calculé une fertilisation excédentaire par rapport aux besoins de la culture* » (GREN, Pays de la Loire) ; « *c'est un chiffre moyen qui ne satisfait pas la moitié des situations, en fait il sera soit supérieur soit inférieur* » (Institut Technique, GREN Bourgogne).

**Encadré 1.** Arguments issus des rapports GREN et des enquêtes qui convergent sur le risque de pertes de rendement avec l'application de la règle imposée au niveau national.

[1] « *Un objectif de rendement calculé selon cette méthode pourrait, dans le cas de bonnes années climatiques, empêcher l'expression d'un fort potentiel par limitation d'azote. Graduellement, cette méthode de calcul pourra conduire à une baisse tendancielle des rendements et sera préjudiciable pour les variétés les plus productives* » (GREN, Rhône-Alpes)

[2] « *Si les rendements sont faibles pendant plusieurs années, la moyenne des 5 dernières années sera faible et les doses prévisionnelles d'azote limitées. Dans ce cas, les rendements seraient en diminution (spirale régressive)* » (GREN, Champagne-Ardenne)

[3] « *Le choix de l'objectif de rendement est du ressort de l'utilisateur. Il s'agit d'un exercice difficile du fait de la forte variabilité interannuelle des rendements dans un milieu donné, en particulier dans les sols superficiels. L'une des principales origines en est la variabilité climatique et en particulier au niveau de la disponibilité en eau. Il convient donc d'appréhender une notion de risque. La recommandation habituelle est de choisir la moyenne des 3 années médianes parmi les 5 dernières années (élimination des 2 années extrêmes). C'est à ce niveau que se situe probablement l'une des principales sources d'erreur dans le calcul de dose* » (GREN, Pays-de-la-Loire)

[4] « *La majorité des membres du GREN affirme que cette méthode annule les gains du progrès génétique. Ils soulignent également que, les rendements obtenus étant inférieurs aux objectifs de rendement avec les pratiques de fertilisation actuelles, elle risque de conduire à une diminution irréversible des objectifs de rendement et des rendements obtenus, surtout à l'issue d'une série d'années défavorables* » (GREN, Centre)

[5] « *Le GREN souligne l'imprécision d'une telle méthode de calcul qui ne prend pas en compte ni le progrès génétique ni diverses hétérogénéités (variétés, parcellaires, rotationnelles ...) que l'on peut rencontrer sur certaines exploitations* » (GREN, Auvergne)

[6] « Les experts issus des organismes économiques ont exprimé le souhait, que pour les céréales notamment, l'objectif de rendement tienne compte également des exigences de qualité (en particulier les teneurs en protéines) requises aussi pour le marché intérieur que pour l'export » (GREN, Picardie).

[7] « On a un matériel végétal qui évolue, on augmente la productivité, la règle va limiter l'expression du progrès génétique. Il y a des potentiels différents entre variétés, pour les variétés ultra productives la dose X n'est pas suffisante pour exprimer le potentiel » (Enquête, Institut Technique, GREN Bourgogne)

[8] « Le problème avec cette règle c'est qu'elle ne permet pas de prendre en compte le progrès génétique. On dit souvent que les rendements stagnent, avec cette règle on ne va pas améliorer les choses » (Enquête, Coopérative, GREN Bourgogne)

[9] « Il y a beaucoup de situations dans lesquelles l'application stricte de la règle serait pénalisante. Par exemple dans les conditions de printemps sec, lorsque le facteur limitant est l'eau, il y a un impact sur le remplissage des grains. Mais cette contrainte n'est pas liée à l'azote, elle est liée au climat, à un autre facteur limitant. Or si on ne prend pas en compte lorsqu'on fait la médiane de ce biais, on va limiter les objectifs de rendement même pour des années où il n'y aura pas ce facteur limitant eau [...] Il faut un ajustement pour intégrer une erreur due à des situations climatiques sensibles à d'autres facteurs que l'azote et il faut intégrer l'aspect génétique (progrès) et l'aspect protéine (contrainte marché). Le risque avec la règle c'est de faire diminuer les préconisations azotées et s'il y a un impact sur le rendement, il y aura aussi un impact sur la protéine » (Enquête, Coopérative, GREN National).

[10] « Avec la règle, il y a un risque de stagnation des rendements et on ne prend pas en compte le progrès génétique » (Agriculteur, Haute-Normandie)

Les interviews mettent en avant la difficulté de mise en œuvre de la règle du fait qu'elle requiert un historique des rendements: « Mes rotations sont trop longues pour que j'ai une référence sur 5 ans, pour chaque parcelle » (Agriculteur Normandie), « en théorie la règle est simple, mais quand j'ai une rotation prairie pendant 4 ans, puis maïs, puis blé, j'ai un point tout les 6 ans. Donc là, il doit y avoir un travail d'éclaircissement pour proposer des règles simples et surtout qu'on aille vers le potentiel des parcelles, pas la moyenne » (Conseiller, Bretagne). Cinq GREN ont discuté ces difficultés et suggèrent de limiter l'historique demandé à 3 années (Normandie) ou d'être plus flexible à plus ou moins une année (Languedoc-Roussillon, Picardie, Poitou-Charentes).

### **3.1.2. Des perceptions divergentes sur la notion d'objectif de rendement**

Non seulement les rapports des GREN mettent en avant une controverse sur la règle nationale, mais ils révèlent aussi qu'il y a des perceptions différentes sur la notion d'objectif de rendement, une ambiguïté sur sa définition. Un indicateur en est le choix des rendements régionaux de référence que les GREN doivent proposer pour les situations où les agriculteurs ne disposeraient pas de l'historique sur 5 ans pour calculer l'objectif de rendement. Si la majorité des GREN suggère de prendre les rendements moyens diffusés par les statistiques d'Agreste, 7 GREN ont eu des discussions vives opposant les acteurs des Pouvoirs Publics qui souhaitent garder ces références et les acteurs des organismes professionnels agricoles qui considèrent que les rendements de référence devraient être établis à partir des données des instituts techniques (encadré 2). La logique de la moyenne régionale, établie à partir de situations agronomiques très différentes, qui conduit à sous-estimer les besoins en azote sur les meilleures parcelles, est opposée à la logique d'une estimation de rendements potentiels par situation agronomiques qui conduit à surestimer les besoins sur les parcelles où le potentiel n'est pas atteignable.

Finalement, la façon dont les agriculteurs enquêtés fixent leur objectif de rendement illustre bien l'ambiguïté inhérente à la définition même de l'objectif de rendement. Certains appliquent la règle ou du moins se réfèrent à une moyenne des rendements, mais plusieurs agriculteurs font un lien entre l'objectif de rendement et les performances qu'ils peuvent potentiellement atteindre (encadré 3). Ils choisissent l'objectif de rendement comme le rendement qu'ils estiment pouvoir réaliser, parce que eux-mêmes ou leur voisin l'ont déjà atteint une fois au moins. Pour eux, l'objectif de rendement est plus un rendement espéré qu'une espérance de rendement.

**Encadré 2.** Extrait des rapports GREN illustrant la controverse entre organismes professionnels agricole et Pouvoirs Publics.

*« Plusieurs membres du GREN se posent néanmoins en désaccord avec l'utilisation des valeurs produites par la statistique agricole qui ne sont que des moyennes et jugées inférieures de 10 % à la réalité » (GREN, Centre)*

*« Une majorité de ses membres se prononce pour une validation des propositions faites par les instituts techniques basées sur des données à dire d'experts du potentiel de rendement des cultures dans les différents types de sol définis au niveau régional. Ces propositions sont contestées par l'agence de l'eau et les deux animateurs qui constatent que les valeurs proposées par les instituts techniques sont supérieures aux rendements statistiques évalués par le SRISE, même en retenant une période de référence de 10 ans au lieu de 5 ans. Les experts désignés par les organismes professionnels font valoir que la détermination de valeurs par défaut trop basses pour les objectifs de rendement ferait perdre un potentiel de production à la région. Les deux animateurs et l'agence de l'eau considèrent que de telles valeurs correspondent à des potentiels de rendement qui sont rarement atteints, ce qui conduit à des risques de sur fertilisation » (GREN, Poitou-Charentes).*

*« Les références disponibles sont, d'une part, les rendements publiés par la profession et obtenus annuellement sur un réseau de parcelles, bien défini mais pas représentatif de l'ensemble des agriculteurs du département. Ils sont de fait supérieurs aux rendements moyens atteints sur le département. Utiliser ces rendements tels quels exposerait à sur-fertiliser partout où les potentialités du sol ou de l'exploitation sont moindres. D'autre part, les moyennes de rendement obtenues chaque année sont publiées par les services statistiques régionaux de l'État (SRISE). Ces valeurs rendent compte des rendements effectifs, incluant tous les accidents intervenus (météorologiques, destructions...). Ils ne sont donc pas représentatifs des capacités de la parcelle et ne peuvent être utilisés en tant qu'objectifs lors du calcul prévisionnel de fertilisation sans pénaliser les parcelles et exploitations à haut potentiel. Aucun consensus n'est ressorti des échanges au sein du GREN. Les avis étaient partagés sur les deux façons d'approcher la question » (GREN Basse-Normandie).*

**Encadré 3.** Extraits des enquêtes montrant que l'objectif de rendement est perçu comme un rendement espéré.

*« Mon rendement est autour de 70-80 quintaux, 90 pour certaines parcelles [...], je mets souvent 90 quintaux, parce que je les ai déjà fais » (Agriculteur Bourgogne)*

*« Je prends le meilleur objectif réalisable » (Agriculteur, Haute-Normandie)*

*« Je mets 100 quintaux là où je sais que je peux les faire » (Agriculteur, Haute-Normandie)*

*« Ma moyenne est autour de 60 quintaux, mais dans mon plan de fumure je prend une base de 80 [...] je ne sur-estime pas l'objectif de rendement, 90 serait exagéré mais 85 c'est une moyenne » (Agriculteur, Haute-Normandie)*

*« Mon objectif de rendement, c'est une moyenne pour la sole de blé, il équivaut à un rendement espéré, celui des bonnes années » (Agriculteur, Languedoc-Roussillon)*

*« Les agriculteurs sont des entrepreneurs, on ne peut pas leur demander de raisonner avec cette logique d'un objectif moyen » (Chambre d'Agriculture, Bretagne GREN).*

### **3.2. Les controverses autour de la mesure, l'interprétation et l'extrapolation du reliquat sortie hiver (RSH)**

Avec le renforcement de la réglementation concernant la mise en œuvre de la Directive Nitrates, une analyse de sol est obligatoire sur chaque exploitation située en zone vulnérable (MEDDTL et MAAPRAT, 2015). La méthode du bilan inclut le terme « azote minéral dans le sol à l'ouverture du bilan » (Ri) et recommande de réaliser une analyse de sol pour l'estimer, la mesure du reliquat sortie hiver (RSH). Seulement 8 GREN sur 20 préconisent au moins une mesure de RSH par exploitation. A partir des arguments issus des 12 autres GREN, qui ne restreignent pas l'obligation d'analyse à la mesure du RSH, et des enquêtes, nous examinons comment les incertitudes techniques et les incertitudes perçues à propos de la mesure du RSH induisent des doutes sur cette donnée. Nous mettons en avant un contraste entre le fait que le RSH paraît être une mesure précise, scientifique et objective et les difficultés que révèle finalement son usage.

### 3.2.1. Les incertitudes relatives à la qualité de l'analyse et à la l'interprétation de la mesure.

Nous avons identifié plusieurs sources d'incertitudes liées à la qualité du prélèvement ou à l'interprétation de l'analyse, qui induisent un doute sur la précision de la valeur mesurée.

La procédure d'échantillonnage (profondeur de prélèvement, stockage, qualité et capacité des laboratoires) est considérée comme une source importante d'incertitude : les valeurs élevées ne sont-elles pas dues à un mauvais échantillonnage ? Six GREN (Centre, Aquitaine, Picardie, Poitou-Charentes, Basse-Normandie, Franche-Comté) ont discuté ce point. Au niveau du GREN National, il est précisé que les connaissances techniques sur la bonne manière d'échantillonner pour mesurer le RSH existent, mais qu'elles ne sont cependant pas toujours bien connues.

Comme le soulignent certains conseillers, dans certains sols (les sols caillouteux, peu profonds), la mesure du RSH n'est techniquement pas pertinente, les conditions conduisant à des résultats imprécis (e.g « *les reliquats sont faits sur ces échantillons tamisés à 2mm. Ca veut dire que si la tarière a pris ici, donc la tarière fait chasser les cailloux, le reliquat fait 50, sauf que s'il y a 50% de cailloux, le reliquat est pas de 50, il est de 25* » (Coopérative, GREN Pays-de-la-Loire)).

Enfin, la diversité des positions affirmées par les experts quant à la prise en compte de l'ammonium mesuré par l'analyse, parfois plafonné, parfois non comptabilisé, induit également un doute sur la fiabilité de la mesure du RSH (encadré 4).

**Encadré 4.** Extraits des enquêtes et des rapports GREN sur l'incertitude autour de la part ammoniacal mesurée avec le RSH.

« *Dans le cas d'une valeur très élevée de ce dernier (supérieure à 20 kg/ha d'ammonium), un diagnostic agronomique devra être établi pour vérifier la pertinence de la mesure* » (Haute-Normandie, GREN)

« *Certainement méthode de prélèvement fabriquent de l'ammonium ; en comparant les méthodes, on a vu qu'il y avait des cas (pour les mêmes situations) où on avait de l'ammonium et où on n'en avait pas, du coup on s'est fixé que 10 d'ammonium c'était un artefact due à la méthode de prélèvement* » (Conseiller, Haute-Normandie)

« *L'azote ammoniacal est fugace, donc est-ce qu'il faut le prendre ?* » (Conseiller, Haute-Normandie)

En résumé, il y a une perception par les utilisateurs d'imprécision de la mesure, qui peut conduire à des corrections arbitraires: « *Je fais des analyses de sol, mais souvent mes valeurs sont supérieures à la moyenne régionale, je me demande si la mesure est fiable. L'analyse de sol c'est une bonne chose, mais individuellement, je me demande si c'est pertinent* » (Agriculteur, Bourgogne) ; « *On conseille, lorsque les valeurs de RSH sont aberrantes, supérieures à 70, de ne pas le prendre en compte* » (Conseiller, Haute-Normandie).

### 3.2.2. Les incertitudes en lien avec la zone de prélèvement et l'extrapolation de la mesure.

Le choix de la zone de mesure, ainsi que l'extrapolation de la valeur mesurée à d'autres parcelles sont également des sources d'incertitudes sur la valeur du RSH considérée pour le calcul. L'hétérogénéité des parcelles, en terme de profondeur de sol, texture ou microclimat, interroge sur l'utilisation d'une mesure pour l'ensemble d'une parcelle : « *Comment j'échantillonne dans ma parcelle pour être capable d'utiliser les modèles qui ont été calés à l'échelle d'une micro parcelle ? Donc le problème de l'échantillonnage et donc de la représentation, c'est comment on ramène une surface hétérogène à une information unique dite représentative pour pouvoir y appliquer mes modèles agronomiques ?* » (Institut technique, Centre). Dans la pratique, les agriculteurs ne mesurent pas le RSH sur toutes leurs parcelles. Les entretiens ont mis en avant plusieurs obstacles comme le coût des analyses, le nombre de parcelles sur une exploitation et la procédure ardue à suivre. Si on suit le principe de la méthode du bilan, l'analyse de sol ne devrait être valide que pour calculer la dose d'engrais à apporter sur la parcelle effectivement prélevée. Mais les agriculteurs enquêtés extrapolent un petit nombre de mesures à des parcelles jugées "similaires". Sur les 25 agriculteurs enquêtés, 11 font une analyse par précédent cultural, 5 par couple précédent / type de sol et 1 par type de sol. Ils extrapolent ces mesures, sans

qu'il y ait de procédure, claire et partagée, d'extrapolation. Toutes ces incertitudes sont perçues par les utilisateurs et induisent des doutes, exprimées dans les enquêtes réalisées auprès des agriculteurs et des conseillers, quant à l'intérêt de recourir à une analyse de sol pour mettre en œuvre la méthode du bilan. Des alternatives pour estimer le terme  $R_i$  de l'équation du bilan existent. Il y a, d'une part, la diffusion de référentiels régionaux, largement utilisés par les agriculteurs « *Pour le RSH j'utilise les résultats des analyses, si je n'ai pas d'analyses, je prends les données locales, de la chambre d'Agriculture* » (Agriculteur, Haute Normandie) et les conseillers « *On utilise les moyennes de RSH pour donner une tendance de l'année* » (Conseiller, Haute Normandie). D'autre part, le développement de modèles d'estimation de l'azote dans le sol à l'ouverture de l'hiver est également une voie intéressante, à explorer davantage. Ces outils automatisés, permettent de s'affranchir des contraintes de temps et de coût liées à la réalisation des analyses de sols « *Avec le modèle, je calcule  $R_i$  pour 250 000 ha avec un clic, je n'ai pas besoin d'envoyer des centaines de personnes pour faire les prélèvements* » (Cooperative Pays-de-la-Loire). Certains GREN ont été proactifs pour défendre des outils et méthodes pour estimer  $R_i$  (GREN Provence, Midi-Pyrénées, Aquitaine, Centre, Pays-de-la-Loire, Poitou-Charentes).

### **3.3. Controverse entre standardisation de l'estimation de la dose totale et adaptation de la fertilisation aux spécificités de chaque situation agricole**

La réglementation conduit à standardiser la mise en œuvre de la méthode du bilan à l'échelle régionale. L'estimation des doses d'engrais devient une procédure formelle, contrôlable. Notre analyse met en avant l'existence d'une tension entre cette homogénéisation et la nécessaire adaptation de la fertilisation aux spécificités de chaque situation agricole.

#### **3.3.1 Débats sur l'écriture du bilan**

Dans 16 régions, les experts se sont accordés sur le choix d'une équation unique du bilan pour la région: le bilan de masse classique, ou l'équation d'efficacité. En Bourgogne, Centre, Champagne-Ardenne et Poitou-Charentes, les experts ont, au contraire, souhaité maintenir la diversité des méthodes de calcul de la dose totale d'engrais. En Champagne-Ardenne, les experts ont gardé les 2 équations, sans que le compte-rendu du GREN fasse état d'un débat à ce sujet. En régions Centre et Poitou-Charentes, bien que l'équation d'efficacité soit utilisée depuis les années 90 (Plas, 1992), notamment sur les sols argilo-calcaires et les terres rouges à châtaigniers, le choix de garder les 2 équations a été source de débats (encadré 5).

#### **Encadré 5. Extraits rapports GREN Poitou-Charentes et Centre des discussions concernant le choix de l'écriture du bilan à mettre en œuvre à l'échelle régionale.**

*« Un des membres du groupe [...] a proposé de retenir la méthode utilisée par la chambre d'agriculture de la Vienne introduisant un «coefficient apparent d'utilisation» (CAU) pour tenir compte des pertes d'azote. Cette proposition a fait l'objet d'un débat entre les membres du groupe au cours duquel il est apparu que la méthode utilisée par la chambre d'agriculture de la Vienne avait été étalonnée sur les sols argilo-calcaires et sur les terres rouges à châtaigniers mais pas sur les autres types de sols. Le choix du groupe à la majorité de ses membres a été de retenir l'équation [3'] [bilan classique] pour l'écriture opérationnelle du bilan azoté prévisionnel en Poitou-Charentes. Le groupe a toutefois admis que l'équation [4] [équation d'efficacité] puisse être utilisée pour les sols argilo-calcaires et les terres rouges à châtaigniers avec les données de paramétrage fournies par la chambre d'agriculture de la Vienne » (GREN Poitou-Charentes)*

*« Le GREN a retenu l'écriture opérationnelle du bilan de masse simplifié représentée par l'équation établie dans le guide méthodologique Calcul de la fertilisation azotée (COMIFER, 2011) sous la forme [3'] [bilan classique] qui représente la forme la plus diffusée du bilan de masse [...] Pour le cas particulier des petites terres à cailloux, l'estimation de  $R_i$  donnée par le logiciel SCAN est acceptée » (GREN, Centre)*

En Bourgogne, l'équation d'efficience, en premier lieu conservée dans le référentiel pour la culture de maïs, a finalement été retirée. Alors que cette équation est mise en œuvre dans des régions limitrophes, le fait de la débattre et de la rejeter en Bourgogne a été perçu comme injustifié (encadré 6).

**Encadré 6.** Extraits des enquêtes avec les membres du GREN Bourgogne qui illustrent le débat sur l'équation d'efficience:

*« Dans le GREN, il y a quelques différences entre les références Comifer et les références localement validées, nous avons quelques parcelles témoins sans azote pour estimer la fourniture en azote du sol et utiliser l'équation d'efficience. On a des références validées localement qui ne sont pas valorisées dans le GREN »* (Chambre d'agriculture)

*« Il y a un débat sur le CAU, pour maïs plus que pour les autres céréales, on avait l'habitude d'utiliser l'équation d'efficience sur les sols caillouteux comme en Champagne et en Lorraine »* (Institut technique)

*« Pour la fertilisation du maïs, ils préfèrent l'équation d'efficience plutôt que le bilan classique, mais le problème c'est qu'avec le bilan classique, on exprime, sur chaque terme, des processus dans lesquels on tient compte de pertes. Avec le CAU, on considère une fraction de perte mais on ne sait pas où elle est, a priori on prend une marge de 20 kg injustifiée »* (Institut de Recherche)

### 3.3.2 *Débats sur les outils locaux*

Dans certaines régions, une diversité d'outils, dérivés d'adaptations de la méthode du bilan aux contraintes locales, a pu être conservée. Par exemple, en Lorraine, la réglette LOR'N est encore préconisée pour calculer les doses d'engrais. En région PACA et Languedoc-Roussillon, les experts ont privilégié "Simpl'Azote" pour calculer les doses d'engrais. Même si les écritures sont différentes des recommandations Comifer, le consensus entre les experts, ainsi que leur capacité à justifier la légitimité de ces méthodes, ont conduit à les conserver dans le référentiel régional. A l'inverse, dans certaines régions, l'homogénéisation a conduit à éliminer des outils, pourtant utilisés par les agriculteurs. C'est par exemple le cas du DiscN en Bretagne, un outil spécialement conçu pour la gestion de la fertilisation azotée chez les éleveurs. Le calcul de la dose d'engrais se basait sur les postes les plus importants pour ces systèmes d'exploitation, à savoir la gestion des effluents d'élevage, l'objectif de rendement, la gestion des prairies et l'azote minéral à la sortie de l'hiver. De la même façon, en Aquitaine, 2 référentiels étaient proposés: un "expert" qui visait à calculer la dose d'engrais avec une méthode la plus rigoureuse et détaillée possible et un "simplifié" qui reprenait seulement le minimum nécessaire et visait à ce que tous les agriculteurs puissent être autonomes dans le calcul de leur dose d'engrais. Cette double approche avait pour objectif de proposer un raisonnement adapté au niveau de technicité des agriculteurs. Cependant, après une demande de validation adressée au Ministère, il a été refusé au GREN de conserver les 2 référentiels. Ces 2 exemples illustrent que la volonté d'homogénéiser la façon de calculer les doses d'engrais a conduit à exclure des moyens de raisonnement de la fertilisation azotée alternatifs, pourtant jugés intéressants par une partie des acteurs concernés.

### 3.3.3 *Est-ce que la standardisation limite l'innovation?*

Quelques rapports des GREN et les entretiens avec les membres des GREN, notamment en Bourgogne et en Bretagne, mettent en avant une controverse entre le désir de standardiser la gestion de la fertilisation azotée et la perte de diversité des moyens de raisonner cette dernière. Cette diversité paraît pourtant justifiée quand il s'agit d'adapter la gestion aux types de sol (e.g. dans les sols où mesurer le RSH n'est pas possible), aux systèmes de culture (e.g. des outils spécifiques pour les éleveurs), ou au niveau technique des agriculteurs. La nécessité de répondre aux exigences de la Directive Nitrates a conduit à privilégier le formalisme du bilan, et à éliminer une partie des alternatives existantes. La France n'est pas la seule dans ce cas : aux Pays-Bas, la mise en œuvre de la Directive Nitrates a également conduit à éliminer des outils de gestion de la fertilisation azotée. L'exemple le plus documenté concerne MINAS (MINeral Accounting System) (Ondersteijn et al., 2002). Cet outil, basé sur le respect d'un équilibre à l'échelle de l'exploitation, permettait aux agriculteurs d'avoir une

certaine flexibilité dans leur gestion de l'azote à la parcelle (Schröder & Neeteson, 2008). Il a été exclu de la réglementation au profit d'une dose maximum par culture. La tension entre l'uniformisation réglementaire et les initiatives pour innover dans la mise en œuvre de la fertilisation azotée (Bouma, 2008) ne se rencontre pas qu'en France !

#### **4. Conclusion**

Notre analyse montre que le concept d'objectif de rendement peut constituer une source d'erreur dans le calcul des doses d'engrais et dans la mise en œuvre de la méthode du bilan. Des améliorations sur son estimation ont été proposées depuis 30 ans, sans franc succès (Meynard, 1987 ; Gate, 1998). La divergence des perceptions de l'objectif de rendement, entre les scientifiques (espérance de rendement) et les agriculteurs (rendement espéré), semble être induite par le modèle du bilan lui-même et par une perception erronée d'un lien direct entre le rendement et l'absorption d'azote par le couvert. Cette proportionnalité entre les termes (Besoins totaux du couvert = Rendement \* besoins par unité de production) suggère aux agriculteurs qu'une forte absorption d'azote est la clé d'un haut rendement. C'est une fragilité du paradigme actuel. Il apparaît souhaitable d'explorer de nouvelles méthodes de raisonnement qui se passeraient de ce principe de fixation a priori d'un objectif de rendement, pour mieux répondre à la fois aux enjeux environnementaux et de production.

Nous avons également mis en avant que, paradoxalement, l'analyse de sol, qui vise à améliorer la précision du calcul, s'avère être une source de doutes, voire d'erreurs. L'analyse de cette controverse révèle la difficulté de passer d'un modèle scientifique à une méthode utilisable par des agriculteurs. Finalement, les régions qui ont suffisamment investi dans la mesure du reliquat sortie hiver (avec des moyens de collecte et de diffusion des résultats, des réseaux de mesure coordonnés et une procédure d'échantillonnage homogène) pour assurer une extrapolation à un grand nombre de parcelles sans ambiguïtés, sont peu nombreuses. Il semble qu'il soit pertinent de continuer à chercher d'autres moyens d'estimer la quantité d'azote minéral dans le sol à l'ouverture du bilan, comme des valeurs moyennes plus précises ou le recours à la modélisation, ou même d'explorer des méthodes de raisonnement de la fertilisation qui ne nécessiteraient pas cette mesure.

Finalement, nous avons montré que la standardisation de la méthode de raisonnement de la fertilisation azotée peut limiter l'exploration de raisonnements alternatifs, pourtant adaptés à des contraintes spécifiques. L'homogénéisation peut se révéler être un obstacle à l'innovation, à la fois dans les pratiques agricoles et dans la recherche.

Ces résultats nous amènent à penser que, dans la perspective d'améliorer le raisonnement de la fertilisation pour répondre à la fois aux enjeux environnementaux et de production, l'exploration de raisonnements innovants serait intéressante. Pour atteindre les performances environnementales souhaitées, la recherche, les organismes de développement et les agriculteurs devraient être encouragés à explorer de nouveaux modes de raisonnement (Sonneveld & Bouma, 2003). Et, même si, dans la situation actuelle, la réglementation semble fermer la porte aux méthodes très innovantes de calcul de la dose d'engrais azote, il est important que cela n'arrête pas la recherche.

Bien que la méthode du bilan soit un modèle scientifique rigoureux, qui fait consensus, sa mise en œuvre entraîne des doutes et des erreurs. Pour développer des méthodes plus appropriées à un usage opérationnel, tenant compte des difficultés et des perceptions des agriculteurs, il ne faut pas hésiter à remettre en cause les principes fondamentaux des modèles actuels. Il ne s'agit plus d'améliorer de manière incrémentale chaque terme de la méthode du bilan, démarche que l'on adopte depuis 40 ans (Meynard et al., 2012) mais de passer à un mode de conception innovante, c'est-à-dire de remettre à plat le mode de calcul des doses d'engrais. C'est ce que nous avons entrepris, en collaboration avec Arvalis-Institut-du-Végétal.

## Remerciements

Nous remercions tous les acteurs qui ont participé aux enquêtes. Nous remercions Arvalis Institut du végétal et l'ANRT pour le financement du projet de thèse dans lequel a été réalisé ce travail, et l'ADEME pour les financements accordés dans le cadre de notre participation au projet REACTIF (REcherche sur l'Atténuation du Changement Climatique par l'agriculture et la Forêt).

## References

- Bouma, J. 2008. In: Discussion of Schröder, J.J., Neeteson, J.J., 2008. Nutrient management regulations in the Netherlands. *Geoderma* 144, 418-425. doi:10.1016/j.geoderma.2007.12.010
- COMIFER, 2013. Calcul de la fertilisation azote. Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales. *Cultures annuelles et prairies*. [http://www.comifer.asso.fr/images/stories/publications/brochures/BROCHURE\\_AZOTE\\_20130705web.pdf](http://www.comifer.asso.fr/images/stories/publications/brochures/BROCHURE_AZOTE_20130705web.pdf)
- Gate, P., 1998. Blé : des modèles pour prévoir le rendement. *Perspectives agricoles*, 178, 56-58
- Hébert, 1969. La fumure azotée du blé. *Bulletin technique d'information*. 244, 755-766.
- Limaux, 1999. Modélisation des besoins du blé en azote, de la fourniture du sol et de l'utilisation de l'engrais. Application au raisonnement de la fertilisation en Lorraine. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine. 179p.
- Meynard J.M. 1987. L'analyse de l'élaboration du rendement sur les essais de fertilisation azotée. *Perspect. agric.* ; 115,76-83.
- Meynard, J.M., Justes, E., Machet, J.M. & Recous, S. 1997. Fertilisation azotée des cultures annuelles de plein champs. In *Maitrise de l'azote dans les agrosystèmes*, Reims, Novembre 1996. Ed INRA, Paris 1997, Les colloques, 83, 183-200
- Meynard, J.M, Dedieu, B. & (Bram) Bos A.P. 2012. Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices. In: *Farming systems research into the 21 st century: The new dynamic*. Darnhofer, I., Gibon, D., Dedieu, B., Editors, 2012, Springer. 407-432.
- Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (MEDDE) et Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt (MAAF), 2013. Projet d'arrêté relatif aux programmes d'action régionaux. Arrêté XXX relatif aux programmes d'actions régionaux en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole. 6p
- Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des transports et du logement (MEDDTL) et Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire (MAAPRAT), 2015. Arrêté du 19 décembre 2011 relatif au programme d'actions national à mettre en œuvre dans les zones vulnérables afin de réduire la pollution des eaux par les nitrates d'origine agricole. NOR: DEVL1134069A. Version consolidée au 24 juin 2015.
- Ondersteijn, C.J.M., Beldman, A.C.G., Daatselaar, C.H.G., Giesen, G.W.J. & Huirne, R.B.M. 2002. The Dutch Mineral Accounting System and the European Nitrate Directive: implications for N and P management and farm performance. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 92, 283-296.
- Plas, D. 1992. Adaptation régionale du raisonnement de la fertilisation: Cas du blé tendre en Aunis. Thèse de doctorat, Université Technologique de Compiègne. 174p.
- Prost, L., Cerf, M., Jeuffroy, M.H. 2012. Lack of consideration for end-users during the design of agronomic models. A review. *Agro.Sustain.Dev.* 32, 581 :594. DOI 10.1007/s13593-011-0059-4
- Recous, S., Loiseau, O., Machet, J.M., Mary, B. 1997. Transformations et devenir de l'azote des engrais sous cultures annuelles et sous prairies. In *Maitrise de l'azote dans les agrosystèmes*, Reims, Novembre 1996. Ed INRA, Paris 1997, Les colloques, 83, 105-120
- Schröder, J.J. & Neeteson, J.J. 2008. Nutrient management regulations in the Netherlands. *Geoderma* 144, 418-425. doi:10.1016/j.geoderma.2007.12.010
- Sonneveld, M.P.W. & Bouma, J. 2003. Methodological considerations for nitrogen policies in the Netherlands including a new role for research. *Environmental Science & Policy* 6, 501-511. doi:10.1016/j.envsci.2003.08.005