



Programme BILAGREAU

Outil d'évaluation agro-écologique des systèmes de production des élevages laitiers et allaitants et prévision de leur autonomie alimentaire



Octobre 2013



Le programme BILAGREAU

Du système fourrager à l'autonomie alimentaire des élevages laitiers et allaitants en maîtrisant la fertilisation et le bilan de l'exploitation

Auteurs

M. BONNEAU – UMR Pegase 1348 – Rennes, Bretagne et Basse-Normandie

L. DELABY – UMR Pegase 1348 – Rennes, Bretagne et Basse-Normandie

R. GIOVANNI – UMR ESE 985 – Rennes, Bretagne et Basse-Normandie

P. ROBIN – UMR Sas 1069 – Rennes, Bretagne et Basse-Normandie

Personnes conseils et ressources

J. AGABRIEL – UMR Herbivores 1219 – Clermont-Ferrand-Theix

P. AUROUSSEAU – AgrocampusOuest, Rennes

D. MICOL – UMR Herbivores 1219 – Clermont-Ferrand-Theix

T. MORVAN – UMR Sas 1069 – Rennes, Bretagne et Basse-Normandie

D. POULAIN – AgrocampusOuest, Rennes

F. VERTES - UMR Sas 1069 – Rennes, Bretagne et Basse-Normandie

Programme enregistré à l'Agence de Protection des Programmes sous le numéro «IDDN.PR.001 280039 000 RP.2013.000.30100» le 12.07.2013

Introduction au Programme "BILAGREAU"

Les exigences agronomiques, économiques et écologiques, étroitement imbriquées, nécessitent des moyens de gestion fiables de l'exploitation, de même qu'une surveillance continue des sources d'excédents NPK souvent liées au système de production.

1 - Le programme "BILAGREAU" est ainsi orienté vers trois objectifs principaux :

- le premier objectif est de bien évaluer la production des effluents du troupeau pour que les épandages et la fertilisation soient préparés au mieux des exigences des cultures et des prairies, celles-ci étant « épandues » directement. De plus, le poste « fertilisations », important pour le bilan agro-zooteknique, l'est aussi pour juger de l'efficacité de l'azote et autres nutriments du cycle annuel de production ;
- le second doit mettre en relation les facteurs des productions animales avec les régimes alimentaires dépendant du système fourrager et les différents flux de nutriments qui peuvent être à la source d'excédents. Ces indicateurs de gestion (ugb/ha.herbe, par exemple) ou marqueurs spécifiques des systèmes (prairies%SFP, fluxN/ugb) doivent définir le système étudié et prévoir son niveau agro-écologique en examinant les indicateurs à contrôler, à améliorer ou à garder ;
- simultanément, le dernier objectif, en interdépendance des premiers, concerne le complexe bilan fourrager-autonomie, lequel conduit à de bons bilans si l'autonomie recherchée est optimum, voire maximum. Enfin, le solde des bilans et les marqueurs du système représentent alors un ensemble de repères agro-écologiques, qui balisent ce qu'on appelle « la cascade de l'azote » attachée au système analysé. Globalement, il s'agit bien de réduire cette « cascade » car la valorisation de l'azote est limitée, voire faible, lors de son utilisation par les bovins.

Tableau 1. Efficacité limitée de l'Azote chez les Bovins (Peyraud et al., 2004)

	Vache laitière	Vache allaitante	Jeune bovin	Génisse lait	Génisse allaitante
Azote					
- ingéré, g/j	460	240	200	180	165
- fixé, 24 kg lait vl.	128	40	38	20	17
- excrété, g/j	332	200	162	160	148
N fixé/N ingéré, %	28	17	19	11	10
N non valorisé, %	72	83	81	88	89

- 2 - Cet outil numérique, de nature agronomique seule, autorise une recherche personnelle et des prévisions adaptées à chaque système, à examiner ou à améliorer.

Ce programme d'évaluation peut autant servir à prévoir la prochaine campagne en testant des choix nouveaux de gestion des animaux, des fourrages, des prairies, qu'à analyser les résultats de la campagne précédente : toutes les décisions ou pratiques utilisées ont en effet une influence sur la valeur des bilans apparents ou les marqueurs des systèmes en place. Une simulation de ces choix retenus, guidée par les connaissances de l'exploitant, peut ainsi **favoriser les prises de décision du court terme ou du long terme**, notamment pour l'introduction des légumineuses-fourrage ou à graines, piliers d'une autonomie doublée d'avantages agro-écologiques, ou encore la mise en place d'un assolement de plus longue durée et de prairies multi-spécifiques.

- 3 - Cet outil d'évaluation et de prévisions s'appuie sur des références et des paramètres connus, publiés ou enseignés. Datant de 1996 à 2018, ces données proviennent des instituts techniques (IDELE, IFIP, ITAVI, ARVALIS), des dossiers initialement CORPEN, du COMIFER et de l'INRA. **Références et méthodes sont accessibles dans la bibliographie** citée en annexe, ou dans la Revue « Fourrages » et les publications annuelles des « Rencontres, Recherche, Ruminants » (3R), des Journées Porcines ou Avicoles ou des Groupes Régionaux d'Expertise Nitrates des DRAAF (GREN). Ainsi, cet outil « Bilagreau » vise-t-il principalement une orientation agro-zooteknique maîtrisée et pouvant s'adapter à la situation écologique du bassin versant d'appartenance.

LES ETAPES DU PROGRAMME BILAGREAU

1 – L'enregistrement des Paramètres du Système de Production

La première remarque concerne la préparation des saisies des nombreux composants du système fourrager, des productions connues ou recherchées, de la composition du troupeau et de la gestion des différents régimes alimentaires, par exemple : il est bien entendu recommandé de réunir le maximum de ces données techniques avant de commencer la saisie de ces paramètres de structure et de fonctionnement de l'exploitation. Une fois ce programme expérimenté, le temps de travail doit durer deux heures et demi.

A - Assolement et Répartition des Surfaces

La SAU se décompose en deux ensembles, la SAU Nette rassemblant les soles en cultures et en prairies, et la Surface d'Intérêt Ecologique (SIE) qui ne participe pas au bilan de l'exploitation (entrées-sorties des nutriments). Cette SAU Nette supporte les soles productives, notamment les surfaces épandues dites SAMO (cultures et prairies) et SPE (surface potentiellement épandable) si la totalité épandable n'est pas épandue pour différentes raisons ; les surfaces en prairies sont aussi à saisir avec attention puisque les temporaires, les pérennes (4-10 ans), les associations et les

permanentes ne sont pas gérées de la même façon. De plus l'importance des prairies est à considérer aussi bien pour l'équilibre des épandages entre cultures et herbe, que pour la définition du système de production (SFP et herbe % SAU.nette et ugb/ha SAU.nette et SFP). Enfin, le système fourrager (SFPc) a été isolé en raison des nombreux indicateurs agro-zootecniques ou écologiques qui en dépendent (SAU nette = SFPc + cultures de vente) (c = concentré autoproduit).

B – Composition du troupeau laitier ou allaitant

Chaque troupeau est composé de trois groupes en raison des objectifs de leur élevage. Signalons ici que *l'usage des cercles d'option, attaché à ces groupes, est indispensable sans quoi le calcul associé ne se fera pas* :

B1- **les vaches et leurs génisses de renouvellement** : le mouvement des élèves est prévu, notamment pour les broutardes vendues au sevrage et les repoussés alors qu'en élevage laitier, on matérialise le mouvement selon l'âge et la case concernée, devenant moins ou plus chargée, selon ce mouvement.

B2 – **les mâles laitiers** sont vendus à 8-15 jours (poids vifs à saisir) ou apparaissent dans les mâles en croissance-engraissement ; **les mâles allaitants** sont, soit vendus au sevrage, soit repoussés de 3 à 5 mois : les ugb sont corrigées en fonction de leur âge de sortie ou d'arrivée. **Les mâles, futurs taurillons**, sont saisis dès le sevrage, et classés directement en croissance-engraissement de 18 mois.

B3 – **les génisses à engraisser d'origine laitière** sont saisies en deuxième année puisqu'elles sont élevées en groupe en année 1 ; il en est **de même pour les génisses allaitantes, toutes sous la mère.**

Pour simplifier les démarches, on a considéré que la période de pâturage était la même pour les vaches, les animaux de renouvellement et pour les autres bovins en croissance-engraissement ; pour l'hiver, le régime des génisses est à préciser, en particulier pour les génisses laitières. Par ailleurs la prise en compte des mouvements de génisses vendues à 2-3 ans et des vaches de réforme à engraisser sur 90 à 100 jours est située à la fin du chapitre.

C – Régimes et Séquences alimentaires

La ressource en fertilisants organiques est évaluée dès ce chapitre car l'azote produit dépend de ces régimes et de leur concentration en azote. De plus, grâce aux références Inra observées en direct sur le terrain ou individuellement en étable, les liaisons entre l'ingestion et la production mesurées, les rejets et la SFPc sont mieux évaluées et permettent la mise à jour de nombreux indicateurs pour les conduites à l'herbe ou la gestion économe en hiver des régimes alimentaires. On doit redire ici que la concentration azotée doit être surveillée en hiver comme en été car un excès d'azote n'a pas d'efficacité puisque perdu à 75-85%, aussitôt dans l'excrétion urinaire, selon le type d'animal.

C1- La période de pâturage

Pour les laitières à l'herbe, cette saison demande la saisie de paramètres nombreux puisque la conduite des pâtures varie, au minimum, en trois séquences, fonction de la croissance de l'herbe, forte au printemps (45 à 60 kgms/jour) et réduite de moitié ensuite ; la complémentation en dépend et varie aussi avec l'état physiologique des adultes en production de lait et le chargement : tous ces facteurs sont indispensables, en particulier la période à l'herbe seule (case verte) qui impacte les rejets directs, la pression azotée sur pâture, les reliquats à venir.... Et la valeur des marqueurs agro-écologiques comme les ugbJours/ha ou les flux de NPK/ha d'herbe ou par tonne de lait.

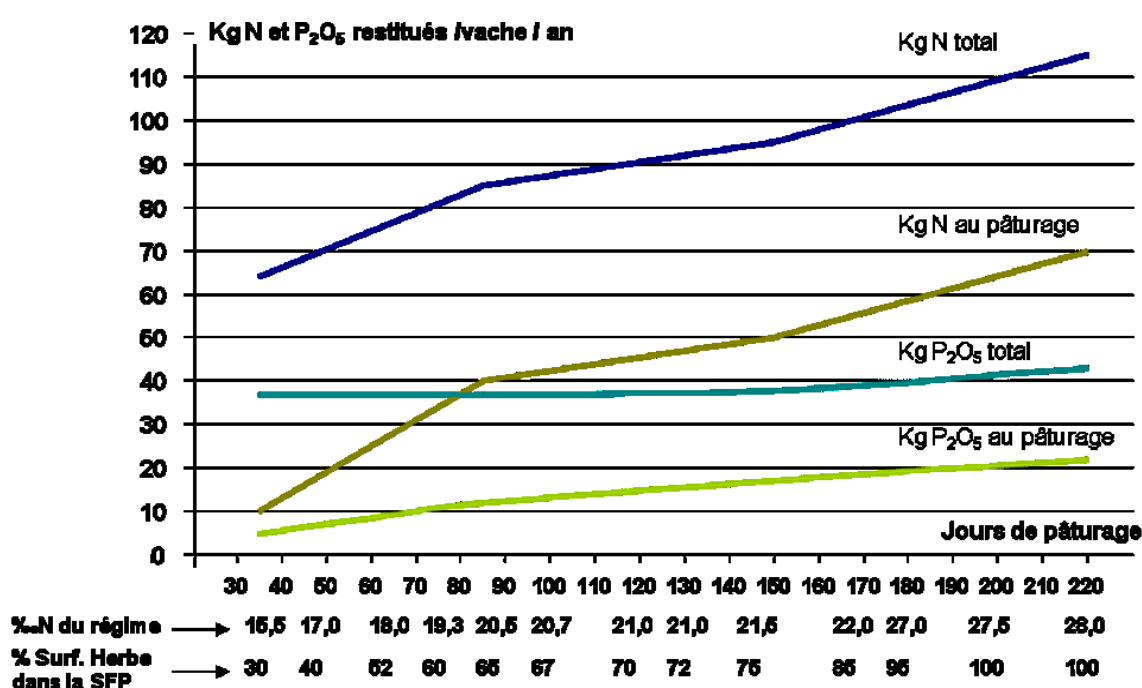


Figure 1. Restitutions d'azote et de phosphore d'une vache laitière (6 000 kg de lait ; +7, 5 kg N et + 2 kg P₂O₅ par 1 000 litres en plus)

Pour les vaches allaitantes, les saisies se font par mois : la période de pâture est la plus longue, souvent peu ou non complétement, alors que le régime d'hiver est simple et le plus court possible, soit 15 à 30 kg N/mère, à côté des 40 à 65 kg N/mère à l'herbe, selon la durée de la saison et la race-format des mères. Les trois formats des vaches allaitantes sont en effet à considérer (cercles d'option) : le niveau d'ingestion augmente du format léger (10-13 kg ms /jour-limousin), moyen (12/15 kg ms /jour-aubrac) et lourd (14-18 kg ms /jour-charolais) et les effluents produits augmentent en proportion aussi bien pour les vaches que pour leurs élèves, soit 67 - 75 - 85 kg N par format respectif des mères ci-dessus (Corpen 2001).

Les rejets à l'herbe sont ainsi évalués avec la précision permise par les connaissances disponibles, comme aussi les compléments, produits ou achetés, qui influenceront la valeur des bilans de la saison de pâturage comme de l'exploitation.

C2 – la période hivernale

Les six régimes utilisables en hiver pour les laitières couvrent l'ensemble des régimes existants dont la concentration en matière azotée varie de 15 à 18 % ms, soit 24 à 30 kg N /tonne.ms. Si l'on se trompe d'un niveau, l'erreur finale sera au maximum de 5 à 8 kg N/ha, d'autant plus faible que la SFPc (bilan fourrager) et la SAU nette (bilan exploitation) seront grandes. D'un autre côté, si deux régimes sont utilisés en hiver, il est possible de saisir leur durée respective, notamment pour l'ensilage d'herbe (forte teneur en N soluble de ce régime).

Pour les vaches allaitantes, les régimes se réduisent à trois : foin, ensilage de maïs limité avec ou sans foin ou paille, et ensilage d'herbe classique ou enrubannage ; la teneur en azote du régime varie assez peu, sauf avec l'herbe conservée, ce qui a été paramétré en mémoire, aussi bien pour les adultes que pour les élèves en croissance-engraissement. Les paramètres des rejets sont donnés en annexes 1 et 2.

C3 – la saisie des concentrés autoproduits et en complément du pâturage.

La saisie des concentrés « autoproduits », céréales diverses, protéagineux, granulés déshydratés – est demandée pour pouvoir calculer les achats devant compléter les besoins en concentré total distribué pour équilibrer les rations en azote et en phosphore, notamment pendant l'hiver. En effet, en pâture suffisante ou peu limitée, il est recommandé **de n'utiliser que des compléments énergétiques valorisant l'azote soluble de l'herbe.**

Les concentrés donnés au pâturage peuvent être achetés ou autoproduits et limités en fin de l'engraissement ou considérés comme un facteur d'une intensification en chargement élevé ; les céréales aplaties sont aussi un facteur de croissance avec les jeunes laitiers nés en hiver ou mis à l'herbe dès le sevrage au printemps, ou sous la mère pour les broutards. L'ensemble de ces compléments influence l'évaluation azotée et énergétique des intrants, matérialisée **grâce aux indicateurs de gestion par ugb et aux soldes des bilans de l'exploitation ou des pâturages.**

En dernier lieu, surtout pour les vaches laitières en transition à l'herbe, on doit rappeler qu'une complémentation de 30 % (ensilage de maïs ou d'herbe, foin, ...) est normale, comme avant la rentrée en stabulation ; **mais ensuite, la surface allouée étant adaptée à l'ingestion prévisible moyenne, le complément ne doit pas dépasser 20 % de la MS/jour, soit 3 à 4 kg.MS, sans quoi l'ingestion d'herbe est diminuée et la prairie mal utilisée et valorisée.**

Tableau 2. Influence du type de système laitier sur le Bilan et l'Autonomie de l'Azote (ESCO, 2012)

Systèmes laitiers	Cultures Fourragères	Herbe + Maïs	Herbager	Montagne
Mais / SFP, %	30-50/55	20-30/40	< 15	< 5
Chargement, ugb/ha SFP	1, 6-2, 5/3	1, 4-2, 0	0, 6-1, 2/1, 5	0, 5 -1, 0/1, 2
Pression N organique, kg/ha	120-150	100-120	85-100	65-80
Fertilisation N minérale,	80-120	80-100	40-70	(0)-20-60
Bilan Azote, kg/ha SAU	100-150	80-110	35-65	(-10) -30
N potentiel lessivable kg/ha	30-50	25-40	15-20	0-15
Autonomie, %				
- Fourrages	92-96	85-95	85-90	85-90
- Energie	85-90	82-90	84-87	82-88
- Azote	55-75	65-75	70-80	75-82

2 – Fertilisants organiques et Pressions NPK/ha (module : NPK organiques).

Les premiers résultats proviennent directement du système fourrager et du calendrier fourrager par type d'animal tels qu'ils sont rapportés dans cette page : les effluents produits sont en effet détaillés puisque les uns stockés (hiver + traite-été) sont maîtrisables-épardables et les autres déjà épandus, non maîtrisables, sur prairies. Ainsi on détermine aussitôt les pressions organiques sur les pâtures et sur les autres surfaces :

- la **SAU nette** pour définir le niveau moyen de l'exploitation, et la **SAMO** comme indicateur de l'intensification liée à la fertilisation associée. La SPE doit être maximum et la SAMO égaler la SPE surtout si les effluents sont riches en matières organiques.

- la **SFPc** est porteuse des résultats « animaux » du système fourrager et des liaisons avec le sol, et la Surface des **PRAIRIES** dont la pression moyenne ou l'une d'elles seulement (vaches, autres bovins en croissance, engraissement) peut se révéler trop élevée et source d'excédents.

Par ailleurs, si l'exploitation possède un élevage hors-sol, l'examen des pressions globales et l'importance de celles du hors-sol permet de préparer la part des effluents azotés à exporter, tout en surveillant la part associée du phosphore. **Avec les effluents avicoles, il est souvent prudent de calculer les exportations sur la base du**

Phosphore pour éviter une dégradation des équilibres N-P et un enrichissement des sols en P, continu, déjà naturel en exploitation bovine (tourteaux riches en P).

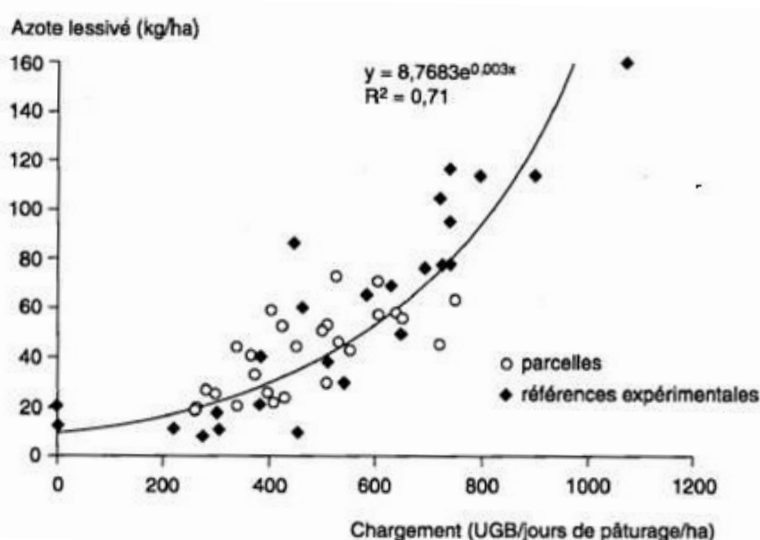
Enfin, on pourra observer que les pressions organiques calculées avec les références officielles (annexe 3) peuvent varier par rapport à celles d'origine Inra. Cette différence provient du fait que les références Inra, liées aux régimes, sont plus progressives de 5000 à 10000 litres comme le sont l'ingestion et la complémentation associée, de même que pour les vaches allaitantes dont l'ingestion est dépendante du format-race et du poids (annexes 1-2).

3 – Les Chargements, indicateurs de gestion et marqueurs de l'exploitation (page Chargements)

Le chargement exprimé en ugb/ha de Surface Fourragère Principale, y compris la surface céréales et concentrés (c)-(SFPc) est un des marqueurs les plus importants de l'exploitation : en effet il associe tous les animaux et tous les aliments produits, ce qui mène aussi bien à la recherche du degré optimum de l'autonomie qu'à la définition de l'intensification du système par les cultures, ou par les prairies ; cette intensification est en effet sous-évaluée si elle est exprimée en fonction de la SAU nette ou de la SAU totale (SAU nette + SIE). De même, pour les prairies, le ratio ugb/ha est un marqueur de leur gestion que l'on doit accompagner des compléments distribués pour que le bilan au pâturage soit fiable. Les autres ugb/ha, soumis à variations entre années, sont des indicateurs de gestion des différentes prairies de graminées pures ou d'association.

Les valeurs NPK organiques/ugb sont une explication de la formation des pressions /ha de l'exploitation et peuvent servir à une estimation des pressions lors de la préparation des séquences de pâture annuelle afin de s'adapter à la croissance de l'herbe. Et au final, ces ugb au pâturage participent à la prévision des rejets N totaux-saison des ugbJoursHa et de leur potentiel de lessivage, fonction des lames drainantes sous pâture. Et cela est valable aussi bien pour les adultes que pour les élèves dont les ugb/ha.herbe sont souvent trop élevées (Pâtures, coefficient 20/24.heures pour les laitières).

Figure 2 : Relation entre le niveau de chargement et la quantité d'azote lixivié : comparaison des parcelles à des références expérimentales (Simon et al, 1996 ; Laurent et al, 1999)



Ce marqueur fait partie des composants agro-écologiques de l'exploitation en reliant directement le type d'animal, sa conduite alimentaire et les rejets, fertilisants en excédent ou non, à « épurer » par les sols : **la figure 2 montre qu'à partir de 400 ugbjourns/ha, le lessivage d'azote commence à dépasser 25 kg/ha et 40 avec 600 ugbjourns/ha (sans complément)** ; la moitié de cette valeur étant acquise en avril-mai-juin, la fin de la saison est ainsi à gérer en déchargeant à 1 ugb/ha, (pousse de l'herbe limitée et début d'une minéralisation possible de l'azote épandu et urinaire, dès la mi-octobre).

4 – Pressions au Pâturage (module : Pressions PRAIRIES)

Comme sur le terrain, la conduite des vaches en production a été séparée de celle des Autres Bovins puisque leur niveau d'ingestion différent, prévisible, permet de préparer les séquences de pâturage liées à la croissance de l'herbe (Alimentation des Ruminants, Inra, 2007-2018, Editions Quae). Aussi, les résultats attendus ici concernent surtout la gestion de chaque périmètre affecté aux vaches ou aux élèves :

- les pressions/ha-saison de chaque périmètre expliquent la pression moyenne calculée en page NPK organiques : **la pression azotée peut varier de 45 à 120 kg N/ha.herbe pour les adultes, mais elle dépasse rarement 80-100 kg N/ha pour les autres bovins (AB)**, ce qui est en corrélation avec les chargements ugbjourns/ha respectifs ; ces dernières valeurs-AB peuvent être élevées si des élèves sont gardés en supplément avant une vente, ou si les surfaces en herbe, éloignées, insuffisantes, sont trop chargées, ou complémentées en raison du chargement : l'efficacité de ces rejets directs est limitée (coefficient de 20 à 25%) soit de 5 à 25 kg Neff/ha-selon les charges en ugb/ha ; mais la partie en reste va alimenter le pool N du sol et contribuer à la minéralisation de fin d'année et aux reliquats à venir ; **ces rejets efficaces NPK sont ainsi transférés directement vers les pages Ferti-Prairies (option en haut indispensable : VL, V.ALL, AB) dans les Fournitures du sol.**
- la valeur des rejets P_{205} efficaces est à considérer dès maintenant : son fort coefficient de 85 à 100% selon certains effluents, peut mener à une réduction de l'épandage d'azote pour des prairies sur sols fragiles, lessivables, ou peu productives dont les besoins en P sont de 30 à 40 Kg /ha seulement, au lieu de 50 à 65 pour des productions de 7 à 9 tonnes.ms/ha en sols profonds et fertiles.

5 – Préparation du Plan d'Épandage (module : EPANDAGE)

La première étape des fertilisations commence avec le plan d'épandage, ce qui pose de nombreuses questions, de la qualité des sols, de la concentration NPK des effluents à la formation des reliquats ; on se limite ici à la prévision des doses de N/ha et de P_{205} , si nécessaire, pour les cultures et les prairies ; de plus, si les

pressions/ha sont élevées ou supérieures à 170 kg N/ha, on doit procéder à une exportation d'azote et de phosphore, notamment si l'exploitation possède un hors-sol avicole (kg. P_{2O_5} = 0, 90 à 1, 20 kg N.effluents).

En conséquence, que l'on importe ou exporte des effluents, il est conseillé d'examiner la situation des pressions existantes et de tester les pressions après import ou export : il faut voir si ces pressions nouvelles sont convenables vis-à-vis de la fumure de la sole dont on connaît le niveau à la suite des fumures antérieures. On exprime ainsi l'export comme une diminution de pression-kg/ha pour évaluer le tonnage restant à épandre. Il est alors possible, comme dans le cas 1 « sans mouvement d'effluents », de rechercher l'équilibre entre les doses brutes NPK sur cultures et prairies et ce, en simulant les doses probables, plusieurs fois, si nécessaire :

- en système herbager (>65 % herbe/SFPc), on peut commencer par les doses sur prairies, moyennes à fortes (20-35 m^3 .ha) selon les sols (la prairie tamponne l'azote et retient le phosphore, mieux que les cultures trop épandues) ; le contrôle du phosphore-kg/ha apporté est nécessaire si l'on n'épand que sur les surfaces de fauche.

- en polyculture-élevage, un équilibre cultures-herbe, surtout avec le maïs (>25% SFPc -maximum 70 kg P_{2O_5} efficace/ha) est à prévoir en considérant le phosphore comme facteur limitant de l'épandage de N sur les cultures annuelles : l'épandage du Phosphore est en effet une étape-clef, avec la pratique des impasses de fertilisation en PK minéral, qui permet d'éviter une hausse des concentrations régulières des sols épandus tous les deux ou trois ans en assolement court. A signaler, que les doses brutes retenues ici, seront à utiliser dans les pages suivantes de fertilisation. Elles seront alors transformées en doses efficaces pour le bilan Ferti-prairies.

6 – La Fertilisation des Prairies et des Cultures (modules : Ferti-Prairies, - Cultures, Ferti-SAU)

Pour faciliter la préparation du Plan de fumure, la méthode et les procédures par objectif sont semblables à celles pratiquées par les Groupes Régionaux d'Experts Azote (GREN) dont les travaux sont sur le site de chaque DRAAF et par le Comifer remplaçant le Corpen (www.comifer.fr). Trois étapes sont développées pour les prairies comme pour les cultures :

- la définition des besoins NPK efficaces/ha : on doit s'appuyer sur le rendement des cultures passées en éliminant le ou les rendements faibles ou forts selon la fertilité des sols. Pour les prairies, le menu doit permettre de retenir les valeurs NPK du mode d'exploitation (pâturage-fauche) qui convient ; pour les cultures, aussi, les besoins sont ceux actuellement reconnus (annexe 3) par le Comifer ou les GREN.

- la fourniture d'azote par le sol : paragraphe important car il se peut qu'en raison du sol, du climat et des conduites antérieures, les reliquats (analyses fréquentes) et la minéralisation (50 à 200 kg N/ha, notamment sous prairies, soient suffisants pour

satisfaire les besoins des prairies comme des cultures. *Par ailleurs, il faut ouvrir le menu supérieur-gauche des Prairies pour afficher les restitutions au pâturage des VL, V.All ou A.B. et remplir chaque poste demandé, sans quoi le calcul final n'est pas effectué.*

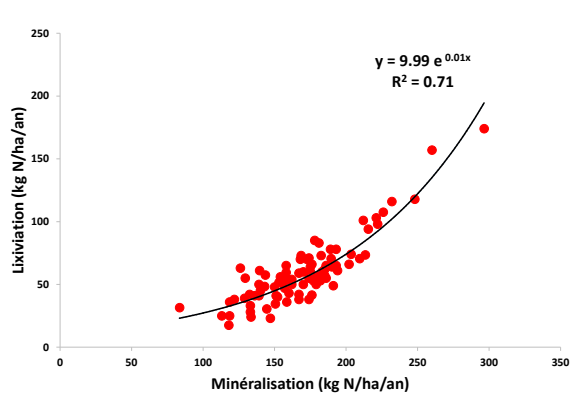


Figure 3 : Influence du niveau de la minéralisation sur la lixiviation sous prairies (Genem, Inra 2018).

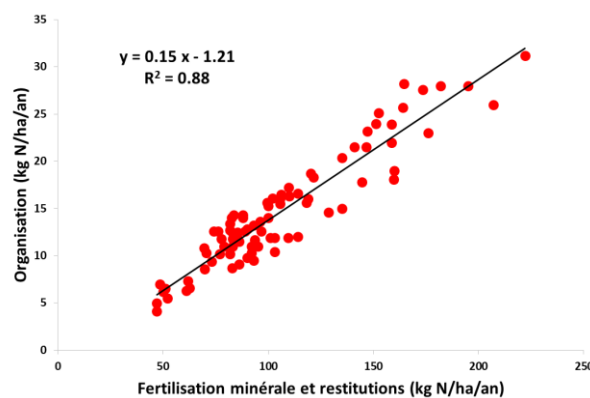


Figure 4 : Variation de la réorganisation en N du pool sol selon la charge azotée totale brute sur prairies (Genem, Inra 2018).

- la couverture des besoins restants : les doses organiques brutes retenues du plan d'épandage sont alors utilisées et transformées directement en NPK efficaces ; en règle générale, les besoins en P_2O_5 et K_2O (efficacité élevée) sont souvent satisfaits avant ceux de N et si les besoins de N sont satisfaits, les apports de PK sont souvent trop élevés ; on est alors amené à retenir le bon apport, surtout de phosphore, en diminuant la dose d'azote organique : **cette correction est à décider en fonction de l'assolement et des impasses de PK pratiquées par l'exploitant.**

Les Particularités liées aux prairies concernent le coefficient apparent d'utilisation de l'azote (CAU=0, 70) qui sert à compenser une disponibilité incomplète des azotes du sol en corrigeant ainsi les fournitures du sol. Si l'on connaît bien la minéralisation et les pousses des prairies de la région, on peut ne pas épandre toute la dose organique ou minérale de complément, surtout avec un chargement fort, et cependant le faire lors d'un moment pluvieux de mi-août à mi-septembre. **Pour les prairies d'association, la fertilisation se limite aux besoins en PK si la dose N limitée à 60 kg N/ha est organique et s'accorde, selon l'effluent, avec les besoins en PK organiques ; autrement, il est préférable d'utiliser un complément minéral PK à juste dose/ha.**

Pour les cultures fourragères ou de vente, la saisie des reliquats (mars ou/et septembre) et des teneurs du sol en P_2O_5 et en K_2O sont indispensables, même si l'on pense vérifier simplement les doses des années antérieures : en effet les teneurs en PK du sol conditionnent la décision des impasses possibles (les deux types d'analyses de P en valeur seuil, sont Dyer=180 mg P_2O_5 /kg et Olsen=80 mg P_2O_5 /kg ; K_2O = 300 mg/kg). Avec les NPK organiques, comme pour l'herbe, on peut aussi se retrouver en excédent N ou/et PK (excédent dit négatif) car l'effluent est riche en P_2O_5 -efficace et K_2O -efficace (porcin ou avicole) : si l'équilibre ne peut être trouvé, on

ne peut que retenir une dose faible de son effluent et compléter N ou PK en engrais minéral : cette dernière fourniture N du sol peut être obtenue dans le dossier annuel du GREN-Draaf régionale si cette dernière apparaît plus adaptée à sa zone que celle calculée probable par Bilagreau selon le sol et le système fourrager à l'étude.

Une fois les dernières doses obtenues et notées à part, on les reporte sur FERTI-SAU afin de faire le bilan de la fertilisation : on détermine ainsi la fertilisation liée aux surfaces fourragères, utile pour les bilans agro-zootechniques et la fertilisation totale de la SAU nette pour le bilan de l'exploitation. De plus, en utilisant les quantités de fertilisants efficaces dans le tableau inférieur de Ferti-SAU, on en déduit la part des NPK efficaces de l'année : par exemple, la part de Neff.bovin doit être de 20 à 25 % (ce qui valide les doses N calculées et retenues) ; la part de l'azote non utilisée ($N_{sol}=n_1+n_2$) va rejoindre le pool-sol dont une partie n_1 sera « perdue » ensuite (volatilisation + lessivage) et l'autre n_2 favorisera le pool N (variations de 20 à 50 kg/an.ha) et les reliquats à venir. Par ailleurs, à cause des coefficients de 85 et 100% d'efficacité pour P_2O_5 et K_2O , le résultat doit être proche de 100 %, ce qui valide les doses PK retenues en Ferti-Prairies et Ferti-cultures : si le résultat est négatif, même de 10 % au moins, il est prudent de diminuer les doses de N organique, surtout pour éviter les excédents de phosphore.

7 - Bilans Fourrager et Alimentaire, Autonomie (modules : Autonomie et Achats)

Le Bilan Fourrager découle de la comparaison entre les besoins du troupeau et les ressources fourragères de l'année. Les besoins du troupeau ont été évalués à partir des niveaux de production et des effectifs enregistrés au début et avec les références associées issues des publications Inra de 2007 à 2018 concernant les régimes et la valeur de leurs composants.

La production fourragère de l'année est à évaluer en rapportant les valeurs des rendements/ha et des stades de coupe pour les prairies, l'herbe offerte en pâture étant estimée par différence ($MS_{pat}=totale\ produite-récoltes$) ; pour les cultures, comme pour l'herbe, c'est le rendement brut qui est à saisir, les valeurs fourragères étant celles des Tables UF et MAT en vigueur données par les GREN, le Comifer ou l'Inra (2018) ; les pertes à la récolte et au stockage sont variables 10 à 20 % selon le mode « récolte+stockage ». Au final, les ressources énergétique, azotée et phosphorée comparées aux besoins, entraînent un surplus ou un déficit en aliments grossiers et un bilan alimentaire complet, équilibré ou non, avec les concentrés produits sur l'exploitation ; en général, le degré d'autonomie de base est égal ou supérieur à 90% des besoins en MS, mais variable de 60 à 85 % des besoins en azote selon l'importance de l'herbe/SFPC, graminées pures, associations et prairies permanentes.

L'amélioration de ces degrés de suffisance peut se préparer d'abord en gérant mieux le pâturage, en augmentant les prairies d'association, soit avec le TB ou le TV, soit avec des cultures pures de luzerne et de TV ou encore des cultures d'association

« céréales+légumineuses » d'hiver à ensiler, sans oublier les protéagineux dont on peut simuler l'influence sur le degré l'autonomie alimentaire finale dès les deux ou trois premiers hectares introduits dans l'assolement. De même qu'une amélioration de 2 à 4 points d'autonomie est visible si les stades de pâturage ou de coupe, fanée ou ensilée sont avancés d'une semaine.

La valeur des Achats va dépendre des dernières saisies à effectuer dans cette page : en effet cette page affiche la consommation globale des concentrés par type d'animal et la part autoproduite ou nulle des concentrés : la différence calculée est complétée par la saisie de la nature du complément énergétique ou/et azoté pour chaque type animal du troupeau.

A ce moment, le bilan des achats est terminé et les résultats par troupeau ou totaux pour les élevages mixtes, viennent compléter ceux acquis en page Autonomie : si l'on désire améliorer son degré d'autonomie, il va falloir produire une partie des achats, lesquels demandent de 7 à 25 ha de surface, selon le système de production et son degré d'intensification de départ.

8 – Résultats et Repères d'Evaluation (module : Résultats et Repères d'Evaluation)

A partir de ce module, le regroupement de résultats précédents ou les derniers obtenus dans les tableaux ici présentés, sont accompagnés de simples remarques en raison de leur nature connue des exploitants et des conseillers, ou spécifiques encore peu utilisées, bien que marqueurs ou indicateurs des systèmes de production (exemple : kg.lait dus aux seuls fourrages, flux de N/tonne.viande., ...) ; en conséquence, on limitera ici les commentaires car les définitions, quantitative ou qualitative, des composantes du système se développent depuis les surfaces exploitées jusqu'aux balances globales et bilans apparents « entrées-sorties » des NPK minéraux.

8-1 : surfaces, système fourrager, chargement et pressions organiques NPK

Ce groupe d'observations constitue presque la structure agro-zooteknique qui soutient et engage l'ensemble des résultats à venir : en effet, ce module a pour but de relier les conditions des productions animales et la recherche du maintien ou de l'amélioration du statut agro-écologique de l'exploitation, notamment vis à vis de la qualité des eaux locales. Ainsi la « cascade de l'azote » liée au système commence par les surfaces dédiées aux productions fourragères de N et PK et à la protection de l'environnement local.

- Soles :

Prairies permanentes, graminées pures	Surfaces d'intérêt écologique – SIE.
Légumineuses : luzerne et trèfle violet	Surface CIPAN % SAU.nette.
Prairies association et multispécifiques	Surface couverte hiver % SAU nette.
Protéagineux : fèveroles, lupins, pois, soja	Surface parcours en demi-montagne.

Ces surfaces et végétaux peuvent être introduits dans les systèmes herbagers ou de polyculture-élevage en fonction de la place de l'herbe dans la SFP, 15 à 20 % en système déjà herbager et 30 à 50 % dans les autres systèmes riches en maïs-fourrage principalement. Cette introduction favorise un allongement de l'assolement qui lui-même entraîne une meilleure gestion du pool N-sol, des reliquats d'épandages, des stocks N des prairies pures et des associations assolées, ou des protéagineux en tête d'assolement. La réduction des pertes d'azote commence bien dès l'organisation des soles et des aires annexes des SIE.

- Systèmes fourragers et Chargement

Le chargement est un marqueur majeur du couple « système+intensification » car, le plus souvent, il est corrélé à l'importance des prairies ou du maïs dans la SFPc, soit de 0, 30 à 1, 20 ugb.max/ha pour les systèmes herbagers (>65% prairies diverses) et de 1 à 2, 5 ugb/ha en « cultures + élevage » possédant encore 10 à 20 % d'herbe permanente ou non dans la SAU.nette.

On doit aussi s'y référer pour la conduite des prairies puisqu'il influence l'estimation de l'herbe offerte et simultanément, contribue, avec la complémentation, à augmenter ou à diminuer en fin de saison, la valeur du complexe « ugbJ.ha +pressions + lessivage potentiel de N/ha » ; cette influence peut-être tamponnée en partie si, au-dessus de 2 ugb/ha en début de saison, une ou deux fauches partielles (35-50%) des périmètres sont pratiquées aux cycles 1 et 2. Quoiqu'il en soit, on peut avancer que les chargements « sans risques ou risques faibles de pollution amont » se situent autour de 1, 40-1, 60 ugb/ha avec une pression maximum de 80/100N + 45/50 P₂O₅/ha, et 400 à 450 ugbjours/ha herbe dans la mesure où les sols sont profonds et même un peu hydromorphes.

**Tableau 3. Systèmes en élevage allaitant :
Chargement et Bilan apparent de l'Azote (ESCO, 2012)**

	Systèmes de Production de Viande (IDELE, 2009)			
	naisseur- extensif	naisseur- intensif	naisseur- engraisseur	engraisseur
Chargement, ugb/ha SFP	1, 0-1, 5	1, 2 - 1, 7	1, 2 - 2, 2	1, 5 - 2, 5 - 5
Pression N organique, kg/ha	50 - 80	85 - 100	70 - 90	80 - 120
Fertilisation N minérale, kg/ha	15 - 40	30 - 60	40 - 80	70 - 120
Bilan Azote, kg/ha SAU	30 - 60	50 - 90	60 - 80	100 - 120
N potentiel lessivable, kg/ha	(-10) - 10	10 - 20	10 - 45	50 - 75

8-2 – Les productions animales : marqueurs et indicateurs

Les tableaux de ce module rapportent un ensemble d'indicateurs parmi lesquels l'exploitant ou son conseiller peut retenir ceux qu'il considère adaptés à ses choix ou à ses moyens de contrôle et d'action. Les repères proposés ci-dessous sont connus, classiques ou liés aux impacts agro-écologiques possibles sur l'exploitation :

Marqueurs - système	indicateurs de gestion	indicateurs agro-écologiques
---------------------	------------------------	------------------------------

Système Lait

kg lait/ha. SFPc	ugb lait/ugbt	Flux N et P/ tonne.lait ugb/ha.SFPc
kg lait/ugb/lait		
% Prairies/SFPc	gr.concentré/kg.lait stock MS herbe/ugb	valeur N P K de l'ugb ugb.Jourspp/ha.pâture
Fourg-ens/SFPc	% Légumineuse/SFPc	Pressions SAMO et SFPc
%Lait dû Fourrages	kg.MS/ N/ UFL/ugb	
Autonomie MS/UF/N	NPK organiques % NPK	Bilan Apparent des N P K

Système Viande

kg.PoidsVif/haSFPc	%ugbV/ugbtotales	flux Net P/tonne.P.V.
ugb/ha.SFPc	kg P.Vif / /vache kg.concentré/ ugb	valeur NPK de l'ugb
%Prairies/SFPc	stock MS herbe/ugb	ugb.Jours /ha.pâture
% Fourg-ens/SFPc	%Prairies-association	Pressions SAMO et SFP
% Protéagineux	veaux sevrés/100v.all.	
Autonomie MS/UF/N	NPK organiques%NPK totaux	Bilan Apparent

Ces repères tracent finalement les productions principales et leur azote associé depuis la structure du système fourrager (%herbe, association, légumineuses + chargement ugb/SFPc) jusqu'aux impacts possibles sur les milieux « sols-air et eaux » (flux, pressions et solde-bilan NPK) ; ces dernières valeurs étant en progression corrélée avec l'augmentation du marqueur ugb/SFPc et des intrants NPK (engrais + concentrés), on ne peut que rechercher une meilleure autonomie grâce aux légumineuses à introduire et une diminution des engrais et concentrés, azotés surtout dus aux fourrages ensilés et cultures intensives (NPK minéraux % NPK totaux à diminuer).

9 – Approche du Bilan Agro-Zootechnique et Environnemental

9-1 : Saisies supplémentaires pour les bilans « Exploitation »

La préparation d'un bilan ou d'une balance fiable et précis, ne serait-ce que pour une parcelle en BGA (Balance Globale Azotée, Corpen 1980-85), demandent un nombre important de données NPK en entrée pour les cultures et les aliments, engrais ou/et effluents et en sortie pour les produits végétaux ou animaux ou autres productions, (ces postes de bilan seront exprimés en nutriments NPK) ; c'est ainsi que sont demandés, les achats d'aliments ou d'animaux, les ventes de céréales, autres cultures ou d'animaux absentes des saisies initiales ; il en est de même pour les surfaces en herbe où la connaissance des kgs vifs produits sur les pâtures est essentielle pour évaluer la qualité des conduites et la valorisation des herbages. Enfin, si l'on désire réaliser le bilan du hors-sol, ses entrées d'aliments de diverses qualités et d'animaux achetés sont indispensables, comme le sont, en sorties, les poids produits par type d'animal. Ces saisies ont l'avantage de permettre une évaluation du rendement des nutriments (NPK sorties/NPK entrées) et des pertes globales du système (excédents/sorties).

La réalisation d'un bilan agronomique réel n'est pas encore possible en raison du manque de mesure « in situ » des entrées et sorties gazeuses par ha de culture et de prairies. En revanche, depuis 1985-90, les nombreuses expérimentations de terrain, soit en station équipée, soit en assolement contrôlé avec mesures géochimiques associées, permettent d'estimer la relation entre un excédent probable (solde bilan) et le niveau de dégradation de la qualité des eaux drainantes. Pour les bassins versants, un travail semblable sur le long terme, en fonction des sols, des cultures, des prairies et des types d'élevage, la connaissance de cette relation conduirait à la définition, d'une « charge critique en azote », seuil d'une eutrophisation naissante ou rapidement polluante ([cas des algues vertes](#)).

Les Balances Globales NPK et le Bilan Apparent des Minéraux ont été utilisés ici car leur solde respectif par nutriment donne une estimation des excédents dus au système et secondairement, aux pratiques qui lui sont associées. En revanche, ces deux soldes indicateurs des excédents NPK, même s'ils sont proches, ne sont pas comparables ou « échangeables » puisque le second solde prend en charge, directe et indirecte, l'étape « alimentation-animal », avec des entrées et sorties différentes du premier solde.

9 – 2 : La Balance Globale NPK.

Cette balance, dite globale, initialement à la parcelle (Corpen 1985), a été étendue à l'exploitation pour utiliser la totalité N des effluents de l'élevage et des engrais achetés et les comparer à l'azote de toutes les productions végétales vendues et consommées en principe par le troupeau : ainsi, [cette balance concerne seulement](#)

les liaisons surface-végétaux (SAUnette) (ou surface-fourrages-SFPc). Elle permet d'estimer la balance fourragère et de la relier aux résultats animaux. En revanche, cette balance ne prend pas en compte les NPK entrés (aliments achetés, retombées ammoniacales qui apportent 15 à 25 kg/ha, parfois 40, en milieu riche en usines ou en élevages hors-sol) ni les reliquats N et P₂O₅ en fin de saison. On considère que cultures ou fourrages n'utilisent que les engrais totaux épandus de l'année. Cette simplification ne reflète la réalité des excédents ou déficits que dans le cas d'une fertilisation majoritairement minérale associée à une monoculture.

L'interprétation du solde est donc difficile, notamment s'il est faible (20 à 60 kg N/ha // 15-20 kg P₂O₅/ha), nul ou négatif (systèmes herbagers économes et proches de l'autonomie, ce qui disparaît si l'on connaît les reliquats, la minéralisation et les aliments NPK achetés par exemple) : on est ainsi amené à se référer à des résultats complémentaires (pressions/ha des SAMO+SFPc, ugb.jourspp/ha.herbe, flux N+P/tonne/lait ou viande, concentré/ugb/lait ou viande...) pour juger des pertes et des excédents probables après contrôle des postes du bilan.

9 -3 – Le Bilan Apparent des Minéraux

Il en est différemment avec le Bilan Apparent des Minéraux qui est un outil considéré comme personnel puisque ce bilan est permis par des données de la comptabilité Matières de l'exploitation : les entrées correspondent ainsi aux besoins liés aux pratiques de gestion (fertilisation et alimentation), les sorties mesurées (ventes connues) facilitent la comparaison entre tous les NPK achetés et entrés (effluents extérieurs, par exemple) et toutes les sorties NPK d'origine végétale et animale, vendues ou non. On considère ainsi que les « productions sorties » sont bien le résultat entier de tous les intrants + pratiques + transformations et flux internes. Le solde restant sur l'exploitation, est composé des pertes et excédents de « la cascade de l'azote » vers l'air (NH₃, N₂O, N₂), vers l'eau du sol (NO₃, Norganique, ...) et le captage pool-sol organique et microbien dépendant du système de cultures+prairies, variable avec les sols et le climat. Selon les systèmes agro-zootechniques existants, ce solde peut varier de -20 à plus de 200 kg N /ha et de 0 à 40 kg P₂O₅ /ha/SAU. Le solde Azote est corrélé aux achats d'Azote totaux/ha et le lessivage de NO₃ approche 30 à 50 % de ce solde selon la qualité ou la vulnérabilité des sols concernés.

Tableau 4. Bilan et Efficacité de l'Azote en Cultures et en Elevage Bovin (Simon J.C., 2000)

Systèmes Mixtes	Systèmes Elevage Bovin				
	Bilan N	Efficacité N		Bilan N	Efficacité N
Cultures kg/ha	51	0.72			
Cultures +V. Lait	103	0.41	V. Laitières	149	0.28

Cultures + V. All	100	0.41	V. allaitantes	137	0.22
Cultures + V. L + V. All	122	0.39	V. L + V. All	234	0.26

Un exemple est donné dans le Bilan Exploitation du Programme Bilagreau en se basant sur un « objectif potentiel-sécuritaire » de 50 kg N /ha et 12 kg P₂O₅ /ha SAUnette qui assure une bonne qualité moyenne en situation pédologique normale pour les eaux des lames drainantes de l'exploitation (20 à 25 mg NO₃ et 0,150 mg P₂O₅ /litre) ; en principe, ce seuil est capable d'être atteint et tenu avec 1,5 ugb/haSFPc dans des situations agro-écologiques sans vulnérabilité pédologique ; quoiqu'il en soit, au-dessus de 70/80 kg N /ha, on doit envisager la recherche des causes :

- 1/ de l'inefficacité des nutriments utilisés au niveau du système fourrager ou pour les animaux
- 2/ de la gestion des effluents organiques et des pratiques de fertilisation
- 3/ ou encore du déséquilibre « qualité des sols, fourrages et pratiques » ou « structure et qualités du troupeau vis-à-vis des objectifs de production ».

10 – Conclusion

Un des premiers objectifs de ce programme Bilagreau est de faciliter la tâche des exploitants, de leurs conseillers ou d'autres nombreux services des régions d'élevage, lesquels ont besoin de connaître avec précision la structure des systèmes de production bovine et leurs résultats ou d'étudier de petites régions agricoles pour s'organiser d'abord, et réduire ou au mieux, éliminer les sources polluantes d'origine agricole. Aussi, cet outil de mesures « en cascade de l'azote », fournit un ensemble d'indicateurs propres au système analysé dont on peut définir les indicateurs et aussi les limites.

Finalement, on peut se préparer un tableau de bord à surveiller, revisiter, corriger selon de nouveaux critères ou une évolution du système. Ce Programme facilitant la connaissance des divers systèmes existants et autorisant des décisions locales ou personnelles, répond en grande partie aux objectifs signalés au cours de la récente Expertise Collective sur les Flux d'Azote liés aux Elevages « Réduire les Pertes, Rétablir les Equilibres » (INRA, 2012).

Ce Programme Bilagreau « outil-règle à calculs des NPK-organiques ou des indicateurs de gestion » ne se cantonne pas à l'examen annuel de l'exploitation ; les simulations visant un but fourrager ou d'élevage sont possibles, comme celles visant l'autonomie et l'introduction des légumineuses :

- au sein de zones vulnérables ou à développer sur un objectif bien défini du bassin versant, il est possible de construire les deux ou trois systèmes qui seront à

développer dans la zone à encadrer, et bien connue ; cela demande en effet d'évaluer une charge N ou/et P critique, spécifique vis-à-vis des milieux à améliorer ou à conserver en l'état.

- à partir de la connaissance des principaux systèmes de production d'un bassin versant, on est à même de préciser la production des effluents à gérer et de prévoir au mieux les mouvements de fertilisants entre partenaires, ou encore d'organiser avec les acteurs de terrain (Coop), les traitements N et P nécessaires et leur destination ultérieure.
- enfin, lors d'un changement de système, il est recommandé de prévoir les étapes de cette évolution sur 4 à 5 ans minimum et de les matérialiser vis-à-vis des exigences agro-zootechniques et écologiques de sa zone ou de son bassin versant.

Notons finalement qu'une utilisation rigoureuse de ce Programme Bilagreau, favorisant des pratiques agro-écologiques de l'exploitation et la qualité des eaux à son amont, contribue aussi à la réduction simultanée des flux gazeux, notamment l'ammoniac et les oxydes d'azote.

Bibliographie

1 - Les systèmes de Production

AFPF, 2007 : Prairies, Fourrages et Impacts sur la qualité des eaux. Journées d'Automne, décembre 2007, Paris.(www.afpf-asso.org)

Allard V., Béranger C. Journet M., 2002 : A la recherche d'une agriculture durable : systèmes herbagers économes en Bretagne. Inra Editions, Versailles.

Benoit M., 1994 : Risques de pollution des eaux sous prairies et sous cultures.. *Fourrages*, n° 140, 407-420.

Charrier R., Berteaux R., Bisson P., Galisson B., Véron J., 2000. Typologie des systèmes d'élevage bovin dans les Pays de Loire, 2000. *Rencontre Recherche Ruminants*, 2000, 7, 140. (www.journees3R.fr).

Chatellier V., Jacquerie V., 2005. L'occupation du territoire européen par les exploitations laitières et l'intensification de leurs systèmes techniques. *Fourrages*, 181, 29-45.

Colloque N°83, 1997 : Maitrise de l'azote dans les agrosystèmes. Actes du colloque, Editions INRA, Paris.

Gaury F., 1992. Systèmes de cultures et teneurs en nitrates des eaux souterraines. Thèse de docteur-ingénieur, ENSA Rennes.

Giovanni R., 2008. Systèmes laitiers en Ille-et-Vilaine : pressions organiques et fertilisation. *Fourrages* n°195, 373-389.

Grasset M., Cadoret P. Bras A., 2001. Systèmes laitiers en Bretagne. *Rencontre Recherche Ruminants*, 8, 264-265.

Journet M., 2004 : Systèmes herbagers économes en intrants. *Fourrages* n° 173, 63-88.

Le Gall A, Cabaret M.M., Meuret S., Chenais M., 2000. Comparaison de deux systèmes fourragers laitiers. CAP Elevage 2000, C.R.A. Bretagne, Rennes.

Le Gall A., Grasset M., Hubert F., 1997. La prairie dans les régions de l'Arc Atlantique : 1- Place dans les systèmes fourragers et enjeux – 2- Types de prairies et perspectives. *Fourrages*, n°152, 445-481.

Le Gall A., Legarto J., Cabaret M.M., Farrugia A. 1998. Impact des systèmes laitiers sur l'environnement. Flux d'azote à l'échelle de l'exploitation. *Rencontre Recherche Ruminants*, 5, 201-206. (www.journées3R.fr)

Mahé L.P., Le Goffe P., 2002. La résorption des excédents d'épandage : principes économiques d'un plan d'actions pour la Bretagne. Département d'Economie Rurale, ENSA de Rennes, 65, rue de Saint-Brieuc, 35042 Rennes Cedex.

Mignolet M., Benoit M., Saintot J., 1997. Systèmes d'élevage et risques de pollution azotée : indicateur de risques et application à la plaine des Vosges. *Productions Animales*, 10(4), 275-285. (www.Productions Animales, INRA.fr)

Pflimlin M., Le Gall A., 2006 : Projet Green Dairy : Systèmes laitiers et Environnement dans l'Arc Atlantique. Institut de l'Elevage, décembre 2006, Rennes.

Raison C., Charroin T., Ferrand M., 2007. Excédents de phosphore dans les systèmes laitiers. *Recherche Rencontre Ruminants*, 2007, 14, 70.

Réseau National des Elevages Bovins : Elevages de référence par région de production. Institut de l'Elevage (www.idele.fr).

Résultats des Réseaux d'Elevage Laitier, 2005-2010. Institut de l'Elevage, 149, rue de Bercy, 75595 Paris Cedex 12.

Savoir et Savoir Faire sur les Bassins Versants, 2004. Actes du Colloque de Vannes, Conseil Régional et Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne, Rennes.

Symposium 1990 : Nitrates, Agriculture, Eau. C. Calvet Editeur, Inra-Versailles.

Thénard V., Fiorelli J.L., Benoit M., Mignolet C., 1998. *Rencontre Recherche Ruminants*, 1998, 5, 226.

Vertès F., Corson M., Thiebaut P., 2011. Bénéfices environnementaux à attendre des légumineuses dans les exploitations laitières. *Rencontre Recherche Ruminants*, 2011, posters-annexes.2 - Les flux de NPK organiques dans les Elevages de Ruminants et de Monogastriques.

2 – Les Fertilisants Organiques et Les Flux NPK

Bertrand S., Mirabal Y., Pflimlin A., Le Gall A., Raison C., 2007. Evolution des excédents d'azote en France et contribution du secteur laitier. *Rencontre Recherche Ruminants*, 2007, 14, 41-44.

Castillon P., 2000. Pertes d'azote dans les systèmes à base de maïs ensilé : causes et remèdes. *Fourrages*, n°163, 283-291.

Chevry C., 1998. Agriculture intensive et qualité des eaux. Collection Up date, Inra Editions, Paris.

Comifer, 2009. Teneurs en phosphore et en potassium des végétaux cultivés, grandes cultures, fourrages et légumes de plein champ. (www.comifer-asso.fr)

Conseil Scientifique de l'Environnement de Bretagne, 2003. Gestion des sols et apports de déchets organiques en Bretagne. C.S.E.B., Région Bretagne, Rennes.

Conseil Scientifique de l'Environnement de Bretagne, 2005. 1- Compréhension des bassins versants et Suivi de la qualité des eaux. 2- Evolution de la qualité des eaux en nitrates. C.S.E.B., Région Bretagne, Rennes.

- Corpen, 1999 : Estimation des rejets des vaches laitières selon le système fourrager et le niveau de lactation. Mission Interministérielle Agriculture et Environnement.
- Corpen, 1999. Estimation des rejets d'azote et de phosphore par les élevages de lapins.
- Corpen, 2001 : Estimation des rejets des troupeaux allaitants et des bovins d'élevage. Mission Interministérielle Agriculture et Environnement.
- Corpen, 2003 : Evaluation des rejets NPK dans les élevages porcins (mise à jour).
- Corpen, 2006 : Evaluation des rejets d'azote, de phosphore, potassium, cuivre et zinc dans les élevages avicoles.
- Decau M.L., 1997 : Les flux d'azote en prairies pâturées par les bovins. Thèse de doctorat, I.B.B.A, Inra-Caen.
- Delaby L., Decau M.L., 1997. AZOPAT : 1- les flux d'azote associés à l'animal. 2- les flux d'azote du système sol/plante. *Fourrages* n°151, 297-330.
- Delaby L., Peyraud J.L., Vérité R., 1995. Influence de la production du lait et du système d'alimentation sur les rejets de la vache laitière. *Rencontre Recherche Ruminants*, 1995, (2), 349-354.
- Dourmad J.Y., Leterme P., Morvan T., Peyraud J.L., 1997. Les flux d'azote dans les exploitations d'élevage. In *L'eau et l'espace rural*, 17, 281-292. Editions Inra.Versailles
- Ferchaud F., 2006. Pratiques agricoles, fuites de nitrates et qualité de l'eau dans les bassins versants. Programme ProLittoral, C.E.V.Algues et Agrocampus Ouest, Rennes
- Giovanni R., Dulphy J.L., 2008. Simplification des Références Corpen pour l'évaluation des rejets et des pressions d'azote et de phosphore dans les exploitations bovines. *Fourrages* n°195, 357-372.
- Inra, 1988 : Alimentation des Ruminants. Jarrige Editeur, Inra Versailles.
- Inra, 2007 : Tables de la Valeur Alimentaire des Aliments des bovins, ovins et caprins.
- Inra, 2012 : Les flux d'azote dans les élevages. Peyraud J.L., Cellier P., Donnars R., Réchauchère O., 2012. Synthèse du rapport de l'Expertise Collective., Editions Inra, Paris.
- Institut de l'Aviculture, 2012 : Evaluation révisée des rejets avicoles de 2006. Communication au Groupe Azote des Ministères de l'Agriculture et de l'Environnement. Document ITAVI, Parc Beaucemaine, 22000 Ploufragan.
- Laurent F., Vertes F., Farrugia A., Kerveillant P., 2000. Conduite de la prairie pâturée et lixiviation des nitrates : propositions pour une maîtrise des risques à la parcelle. *Fourrages* 164, 397-420.
- Le Souder C., 2010. Nouvelles teneurs en phosphore et en potassium des plantes cultivées et ajustement des fumures phospho-potassiques. *Perspectives agricoles*, n°364.
- Maxin G., 2006 : Modélisation des bilans carbone, eau et minéraux chez la vache laitière. Mémoire ESITPA-INRA, UMR1080 Production du Lait, Inra Rennes.
- Micol D., Hoch G., Agabriel A., 2003. Besoins protéiques et maîtrise des rejets azotés du bovin producteur de viande. *Fourrages*, n°174, 231-242.
- Mouchart A., Fourrié L., 2007. Gestion des déjections animales et qualité des eaux : transfert de phosphore par ruissellement et drainage- stock de phosphore et apports sur l'exploitation. ACTA et UMRSAS-Inra/Rennes/Bordeaux/Thonon.
- Symposium de Reims, 1990 : Nitrates, Agriculture, Eau. Editions Inra, Paris.
- Vérité R., Delaby L., 1998. Conduite alimentaire et rejets azotés chez la vache laitière. Interrelations avec les performances. *Rencontre Recherche Ruminants*, 1998, (5), 185-192.

Vertès F., Simon J.C., Le Corre L., Decau M.L., 1997. Les flux d'azote au pâturage : étude des flux et de leurs conséquences sur le lessivage. *Fourrages*, n°151, 263-280.

3- Les Plans Prévisionnels de Fumure des Cultures et des Prairies.

Benoît M., 1992. Un indicateur des risques de pollution azotée nommé « Bascule ». *Fourrages*, n°129, 95-110.

Bodet J.M., Cognet M., 2004. Arrière-effets azotés et apports répétés de fumier de bovin et de volailles dans une rotation maïs-blé et prairies installées. Rapport Arvalis, 2004.

Cetiom, 2002. Fertilisation du colza et du tournesol avec des effluents d'élevage. Editions Cetiom, BP4, 78850 Grignon.

Chambaut H., Cabaret M.M., Grasset M., 2000. Optimisation du bilan des minéraux des exploitations laitières. Institut de l'Élevage, C.R.A.Bretagne. Le Rheu-Rennes

Chambre d'Agriculture de Basse-Normandie, 2007. La fertilisation azotée des prairies normandes. Bilan simplifié. Chambres des départements du Calvados, Orne et Manche.

Chardon X., Raison C., Faverdin P., 2007. Fumigène : un modèle pour générer des plans prévisionnels de fumure en exploitation d'élevage. *Rencontre Recherche Ruminants*, 2007, 14, 71.

Comifer, 2011. Bases du calcul de la fertilisation azotée. Editions Comifer, Paris.

Corpen, 1998. Programme d'actions sur la maîtrise des rejets de phosphore agricole.

Corpen, 2006. Des indicateurs Azote pour gérer des actions de maîtrise des pollutions à l'échelle de parcelle, de l'exploitation et du territoire.

Farrugia A., Castillon P., Le Gall A., Cabaret M.M., 2000. Méthode de calcul permettant de raisonner la fertilisation des prairies. *Fourrages* n°164, 356-372.

Farrugia A., Pichot L., Perrot C., 1995. Bilan apparent des minéraux et systèmes de production. *Rencontre Recherche Ruminants*, 1995, 2, 355-360.

Farrugia A., Castillon P., 1999. Fertilisation azotée des prairies dans l'Ouest. Journée technique de Rennes. INRA, ITEB et Chambres d'Agriculture de Bretagne (25-09-1999).

Institut de l'Élevage, IFIP, ITAVI, ARVALIS, 1999. Fertilisation avec les engrais de ferme : valeurs des effluents et utilisation dans les plans de fumure. Institut de l'Élevage, Paris.

Leterme P., 2002. Principes du raisonnement de la fertilisation azotée organique et minérale des cultures annuelles et des prairies. Programme de Formation Continue, Aménagement du territoire, *Pratiques Agricoles et Environnement*, Agrocampus Ensa/Inra, Rennes., 65, rue de Saint-Brieuc, 35000 Rennes.

Levasseur P., 2005 : Composition des effluents porcins et de leurs coproduits de traitement. IFIP, Domaine de la Motte, 35650 Le Rheu.

Muller F., 2005. Qualité agronomique et sanitaire des digestats de méthanisation. Prévision et gestion des déchets. ADEME, Angers.

Peyraud J.L., 2000. Fertilisation azotée des prairies et nutrition des vaches laitières : conséquences sur les rejets d'azote. *Productions Animales*, 13(1), 61-72.

Raison C., Charroin T., Ferrand M., 2007. Excédents de phosphore dans les systèmes laitiers. *Rencontre Recherche Ruminants*, 2007, 14, 70.

Schwartz C., Muller J.C., Decroux J., 2005. Guide de la fertilisation raisonnée. Editions La France Agricole, 8, Cité du Paradis, 75010 Paris.

Simon J., Le Corre L., 1992. Le bilan apparent de l'azote à l'échelle de l'exploitation : méthodologie et exemples de résultats. *Fourrages*, n°129, 79-94.

Simon J.C., Grignani L., Jacquet R., Le Corre L., Pages M., 2000. Typologie des bilans d'azote de divers types d'exploitations agricoles. *Agronomie*, n°20, 175-195, EDP Sciences Inra.

Vertès F., Laurent F., Recous S., Leterme P., Mary B., 2000. Minéralisation de l'azote après destruction des prairies pâturées. Conduite durable de la fumure organique. C.A.B. International Publishing, London, England.

Vertès F., Simon J.C., Giovanni R., Corson M., Durand P., 2008. Les flux de nitrates dans les élevages bovins et qualité de l'eau : variabilité des phénomènes et diversité des conditions. Communication à l'Académie d'Agriculture de France, 14 mai 2008.

4- Autonomie Fourragère

Brunschwig P., Lamy J.M., 2003. Protéagineux et ensilage de maïs : autonomie sans diminution des performances. *Fourrages*, n°175,

Capitain M., Farrugia A., Paccard P., 2003. Amélioration de l'autonomie des élevages bovins laitiers et aspects environnementaux. *Fourrages*, n° 174, 2596269.

L'Herm M., Benoit M., 2003. L'autonomie de l'alimentation des systèmes d'élevage allaitant. *Fourrages*, n°176, 411-424.

Lemaire G., 2003. Autonomie et organisation agricole territoriale. *Fourrages*, n°175, 310-315.

Mosimann E., Suter D., 2003. Autonomie et environnement en Suisse. *Fourrages*, n°175, 334-345.

Paccard P., Capitain M., Farrugia A., 2003. Autonomie alimentaire et bilans des élevages bovins selon leur système de production. *Fourrages*, n° 174, 243-257.

Rubin B., Brunschwig P., Sabatte N., Perrot C., 2003. Autonomie et traçabilité dans les Pays de Loire : mise en évidence de solutions par territoire. *Fourrages*, n°175, 319-331

Seuret J.M., Defrance P., Delaby I., 2007. Herb'évol : un outil d'enregistrement et de décision pour la gestion du pâturage. *Rencontre Recherche Ruminants*, 2007, 14, 431.