

Cet article de la revue **Fourrages**,  
est édité par l'Association Française pour la Production Fourragère

Pour toute recherche dans la base de données  
et pour vous abonner :

**[www.afpf-asso.org](http://www.afpf-asso.org)**

# Fertilisation, un levier pour assurer l'autonomie des systèmes d'élevage

G. Véricel<sup>1</sup>, T. Deschamps<sup>2</sup>, F. Degan<sup>3</sup>, C. Le Souder<sup>3</sup>, B. Soenen<sup>1</sup>

## RESUME

*En système d'élevage, produire chaque année suffisamment de fourrages pour satisfaire les besoins des animaux et ainsi garantir l'autonomie sur l'exploitation devient de plus en plus difficile en raison de la contrainte climatique croissante. La nutrition minérale étant l'un des premiers facteurs de production des fourrages, il apparaît donc essentiel de mettre en œuvre une gestion adaptée de la fertilisation des cultures fourragères à même de satisfaire leurs besoins annuels en azote et d'entretenir dans la durée la fertilité des sols vis-à-vis des autres éléments, afin d'être en mesure de valoriser le potentiel de production aussi bien les années sèches que les années pluvieuses.*

*Un rappel des principes de calcul de la dose d'azote prévisionnelle et de raisonnement de la fumure phosphatée et-potassique est donné pour le maïs fourrage et pour le cas plus spécifique des prairies. Pour ces dernières, les besoins en azote peuvent être définis en fonction du mode d'exploitation et pour chaque cycle de production. De plus, l'analyse d'herbe remplace, dans le cas des prairies permanentes, l'analyse de terre pour diagnostiquer d'éventuelles carences en phosphore ou en potassium.*

*Quelle que soit la méthode utilisée, l'intérêt de réaliser régulièrement un diagnostic est d'autant plus important qu'une baisse des teneurs en phosphore des sols et une réduction de la fertilisation PK sont observées à l'échelle nationale laissant pressentir une augmentation de la fréquence des cas de carences dans le futur.*

## SUMMARY

### **Fertilisation: a tool for increasing feed self-sufficiency in livestock systems**

*Given growing climatic constraints, it is increasingly difficult for farm livestock systems to annually produce enough forage to be self-sufficient. Nutrient availability plays a key role in forage production. Consequently, it is crucial to implement suitable fertilisation regimes to (1) meet forage crops' annual needs for nitrogen and (2) maintain levels of other nutrients to sustainably manage soil fertility, such that production potential is stable across both wet and dry years.*

*Here, we review how to calculate the provisional nitrogen (N) dose and how to employ the manure-based phosphorus-potassium reasoning method for grasslands and forage maize. The N needs of grasslands can be determined for different farm types and production cycles. Additionally, in the case of permanent grasslands, it is possible to analyse grass samples instead of soil samples to diagnose phosphorus (P) and/or potassium (K) deficiencies.*

*Regardless of the method used, it is crucial to regularly perform such assessments given that declines in soil P and reductions in PK fertilisation have been observed across all of France. This situation may result in nutrient deficiencies becoming a more common problem in the future.*

Le cas d'exploitations d'élevage herbivores confrontées à des difficultés à assurer l'autonomie fourragère de leur troupeau est de plus en plus fréquent ces dernières années. Il est difficile d'évaluer le niveau de productivité des prairies et plus encore de réaliser un suivi dans le temps de la production d'herbe à l'échelle nationale, ceci en lien avec l'absence de données issues de récolte puisque la quasi-totalité des fourrages et en particulier de l'herbe est auto-consommée (HUYGUES et al., 2015). Cependant, des

estimations de la production des prairies sont simulées sur l'ensemble des zones fourragères, à l'aide du système ISOP (Information et Suivi Objectif des Prairies, DONET et al., 2001), construit conjointement par l'INRA, le service statistique et prospective du ministère de l'Agriculture (SSP) et Météo-France, et qui repose sur l'utilisation du modèle de simulation STICS-Prairies. Une tendance à la baisse se dégage des rendements estimés à l'échelle nationale pour ces dernières années par rapport à la période de référence 1982-2009 avec

## AUTEURS

1 : ARVALIS - Institut du végétal, Station Inter-instituts - 6 Chemin de la Côte Vieille, 31450 Baziège ; [g.vericel@arvalisinstitutduvegetal.fr](mailto:g.vericel@arvalisinstitutduvegetal.fr),

2 : ARVALIS - Institut du végétal, Station expérimentale du Magneraud, 17700 Saint Pierre d'Amilly,

3 : ARVALIS - Institut du végétal, Station Expérimentale - 91720 Boigneville,

MOTS-CLES : Fertilisation, autonomie, azote, phosphore, potassium

KEY-WORDS : fertilisation, self-sufficient, nitrogen, phosphorus, potassium

REFERENCES DE L'ARTICLE : Véricel G., Deschamps T., Degan F., Le Souder C., Soenen B (2020). Fertilisation, un levier pour assurer l'autonomie des systèmes d'élevage. *Fourrages*, 241, 11-19

des déficits de production d'herbe particulièrement marqués pour les campagnes 2018 et 2019 (AGRESTE 2018 et 2019).

Cette diminution ou cette irrégularité de la production fourragère est imputable en grande partie aux effets du changement climatique, avec des sécheresses de plus en plus fréquentes qui affectent la croissance de l'herbe et avec un creux estival de production plus marqué se prolongeant régulièrement à l'automne (PIGEON et al., 2013). Ces épisodes de sécheresse pénalisent également fortement les rendements de maïs fourrage, en particulier dans les situations non irriguées ainsi que la qualité du fourrage récolté. Toutefois, d'autres phénomènes comme une perte progressive de fertilité des sols ou une tendance à la diminution des apports de fertilisants peuvent également expliquer des rendements parfois en dessous des attentes. Une gestion adaptée de la fertilisation des cultures fourragères reste essentielle, y compris dans un contexte climatique incertain, pour préserver toutes les chances d'atteindre le potentiel de rendement lors des années les plus favorables.

## 1. La fertilisation : un enjeu de premier ordre pour assurer le potentiel de production

La fertilisation, minérale ou organique, joue un rôle de premier plan dans la conduite des cultures fourragères et de la prairie (PROTIN et al., 2009). D'une part elle assure le niveau de production nécessaire pour l'alimentation du couvert végétal en complément de la fourniture par le sol, d'autre part elle joue sur la qualité des fourrages et sur la composition floristique des prairies, notamment dans le cas des prairies temporaires multi-spécifiques ou permanentes.

L'azote (N) est l'élément pour lequel la réponse des espèces fourragères est la plus marquée et ses effets sont visibles à l'échelle annuelle mais aussi saisonnière. Les besoins en N ont été référencés pour les différentes cultures, ou lorsqu'il s'agit des prairies, pour les différents modes d'exploitation de ces dernières.

Pour le maïs fourrage, les besoins en N plante entière théoriques ( $QN_{\text{besoinspe}}$ , en kg N/ha) peuvent être estimés en fonction de son rendement en fourrage ( $Rdt_{\text{fourrage}}$ , en t MS/ha) :

$$QN_{\text{besoinspe}} = 40 \times Rdt_{\text{fourrage}}^{0,63}$$

Cette fonction a été simplifiée pour définir les besoins unitaires du maïs fourrage par classe de rendement compris entre 12 kg N/tMS pour des rendements au-delà de 18 t MS/ha et 14 kg N/t MS pour des rendements inférieurs à 14 t MS/ha (SOENEN et BOUTHIER., 2015).

En prairie, ces besoins unitaires varient entre de 15 kg N/tMS pour une coupe de foin de 1<sup>er</sup> cycle tardive à 30 kg N/tMS pour des prairies pâturées avec un cycle rapide de rotation entre les parcelles (COMIFER, 2013).

Autrement dit, en conditions non limitantes pour les autres facteurs de production (absence de carence en phosphore (P) ou potassium (K), année douce et humide), une sous-alimentation de la culture en N de 30 kg N/ha conduit à des pertes de rendements de l'ordre d'une tonne de MS/ha en prairies de graminées pâturées et d'environ deux tonnes de MS/ha pour du foin ou du maïs fourrage.

De plus, un déficit de nutrition azotée impactera également la qualité (teneur en matières azotées totales du fourrage). Dans le cas des prairies multi-espèces, la fertilisation azotée joue également un rôle important sur la composition floristique : elle favorise les graminées au détriment d'autres espèces telles que les légumineuses (PROTIN et al., 2009).

Contrairement à la fertilisation azotée, la réponse des cultures à la fertilisation phospho-potassique est assez peu visible à l'échelle annuelle sauf en sols peu pourvus, où une impasse entraîne systématiquement une carence.

Un réseau national d'essais longue durée a été mis en place dans les années 1970 - 1980, dans lesquels différents régimes de fertilisation P (base de 90 essais) ou K (base de 110 essais K) ont été pratiqués allant de l'absence de fertilisation P ou K jusqu'à des doses correspondant à 4 fois les quantités de P ou de K exportées par les cultures. Ces essais ont été conduits en faisant en sorte que les autres facteurs de production, et notamment la fertilisation azotée, ne soient pas limitants. Ce réseau a permis de quantifier les pertes de rendement causées par une impasse de fertilisation pour différentes cultures (figure 1a et 1b).

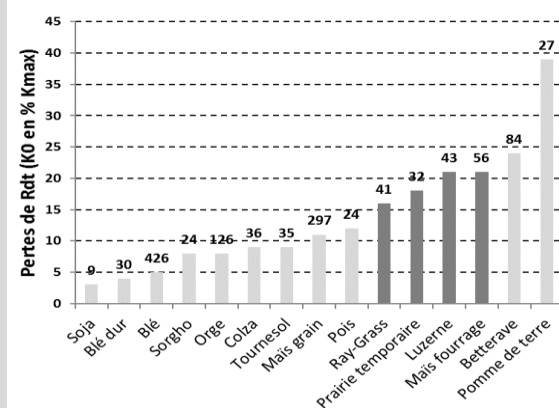


Figure 1 : Pertes de rendement moyennes observées en cas d'impasse de fertilisation phosphatée (1.a) ou potassique (1.b) pour les principales cultures de France métropolitaine (Source : COMIFER) - Pertes moyennes de rendement exprimées en % du rendement maximal de l'essai Les chiffres correspondent au nombre d'essais sur lesquels se base la valeur moyenne des pertes de rendement figurant sur les histogrammes

Figure 1 : Mean loss of yield for the principal crops found in mainland France when (a) P fertilisation and (b) K fertilisation were not carried out because soils contained the minimum necessary amount of these nutrients.

Les espèces fourragères représentées dans ces essais font partie des cultures les plus sensibles aux situations de carence en K, en dehors de la pomme de terre et de la betterave, avec des pertes de rendement moyennes de 16% pour le ray-grass à 21% pour le maïs fourrage et la luzerne dans ces situations. Dans le cas du P, les pertes moyennes de rendement associées à une carence sont de 13% pour le maïs et 31% pour la luzerne.

Ces résultats ont conduit à définir la notion d'exigence des cultures vis-à-vis de ces deux éléments. Cette notion n'est pas directement liée aux besoins des différentes espèces (quantités de P et de K absorbées par la plante entière) mais traduit le degré de sensibilité des cultures aux situations de carence (impact de la carence en termes de rendement). Ainsi, pour un même niveau d'offre déficiente du sol en P ou K, les cultures les plus exigeantes sont celles qui subissent les pertes de rendement plus importantes en comparaison à un témoin fertilisé.

Les principales espèces cultivées en France ont été réparties pour le P et pour le K en trois classes d'exigence en ayant pris soin de comparer leurs pertes de rendement relatives dans un même contexte (même type de sol et même niveau d'offre déficiente du sol en P ou K). A l'exception de la luzerne, culture très exigeante en P et moyennement exigeante en K, les espèces fourragère (maïs fourrage, ray-grass) se classent parmi les cultures moyennement exigeantes vis-à-vis du P et du K.

Ces essais longues durées P et K ont également permis de déterminer, pour les différents types de sol rencontrés, et pour chaque classe d'exigence des cultures, les teneurs minimales de P et de K à l'analyse de terre en dessous desquelles un risque de carence peut apparaître (teneur seuil dite « d'impasse »,  $T_{\text{impasse}}$ ). De même, des seuils de « renforcement » de la fumure ( $T_{\text{renforcée}}$ ) ont été définis en considérant les teneurs en dessous desquelles un apport de fertilisant permettant de compenser les exportations par les organes récoltés ne permet pas d'atteindre le rendement potentiel (COMIFER, 2019).

Les fumures phosphatée et potassique ont un effet moins visible que la fumure azotée sur la productivité des cultures fourragères et des prairies. Ceci s'explique en grande partie par la mobilité plus faible de ces éléments dans le sol (en particulier P) et l'évolution temporelle plus lente des teneurs. Ainsi, en cas d'impasse de fertilisation, la diminution annuelle moyenne des teneurs est de 5 ppm de  $P_2O_5$  Joret-Hébert et de 5 ppm de  $K_2O$  échangeable pour un sol limoneux (ARVALIS, 2011). En dehors des situations de carences qui nécessitent une réponse annuelle, cela permet d'adopter une stratégie de gestion de la fertilisation PK à moyen terme (à l'échelle de la rotation) dans une logique d'entretien qui autorise de pratiquer des impasses de fertilisation lorsque le sol est suffisamment pourvu (teneur  $> T_{\text{impasse}}$ ). A l'inverse, la fertilisation azotée se raisonne chaque année à l'échelle de la culture

voire à l'échelle du cycle de production dans le cas des prairies.

## 2. Gestion de la fertilisation azotée : un ajustement au cycle de production des espèces

Que ce soit pour les cultures annuelles (maïs fourrage, par exemple) ou pour les prairies, le raisonnement de la fertilisation azotée passe par la mise en œuvre de la méthode du bilan prévisionnel (COMIFER, 2013). **Une première étape** consiste à calculer les besoins azotés de la culture *a priori* en se fixant un objectif de production que l'on multiplie par les besoins unitaires de la culture présentés précédemment. Cet objectif de production est généralement estimé par le calcul de la moyenne « olympique » des rendements (moyenne calculée sur les cinq dernières années en supprimant les deux années extrêmes). Ensuite, la dose d'azote totale à apporter est calculée en déduisant des besoins les fournitures d'azote par la minéralisation des différentes sources de matière organique (matière organique du sol, résidus de culture, apports de produits organiques, déjections animales et refus dans le cas des prairies pâturées) et par la fixation symbiotique dans le cas de prairies comportant une part significative de légumineuses (des référentiels permettant d'estimer ces fournitures sont disponibles pour chaque région).

Cependant, dans le cas des prairies, il est souvent difficile d'estimer ce niveau de production, en particulier dans le cas des prairies pâturées ou lorsque plusieurs modes d'exploitation de l'herbe se succèdent au cours d'une même campagne. **Trois approches sont préconisées pour évaluer la production annuelle des prairies** (COMIFER, 2013) :

- Une approche globale consistant à estimer à l'échelle de l'exploitation les besoins annuels en fourrage pour assurer l'alimentation du troupeau
- Une approche parcellaire basée sur les niveaux de production accessibles à l'échelle de l'année ou de la saison (s'appuie sur l'expertise de l'éleveur ou sur un référentiel régional, en tenant compte du potentiel de production de la parcelle et de son mode d'exploitation)
- Une approche parcellaire basée sur l'ingestion des animaux au pâturage (besoins exprimés par type d'animal en quantité d'herbe journalière ingérée par animal).

La première approche permet de fixer un objectif de production moyen à l'échelle de l'exploitation, qu'il faut ensuite moduler pour prendre en compte des différences de potentiel entre parcelles ainsi que le mode de conduite et d'exploitation de la prairie. La seconde et la troisième approche, qui peuvent être complémentaires (l'une étant basée sur l'offre de la prairie, l'autre sur la demande des animaux à satisfaire), sont donc à privilégier afin de définir des objectifs adaptés à chaque parcelle. De plus, la croissance de

l'herbe n'est pas constante au cours de l'année et le potentiel de production, maximal au printemps avant l'épiaison des graminées, décroît pour chaque coupe successive (figure 2). Une estimation des besoins des prairies cycle par cycle est donc préférable à une estimation annuelle afin d'apporter une dose de N adaptée à chaque cycle d'exploitation de l'herbe et permettre une meilleure valorisation de ces apports.

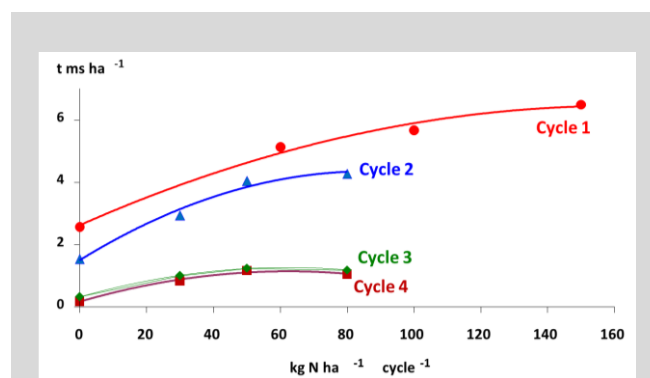


Figure 2: Courbes de réponse à l'azote pour les 4 coupes successives d'une prairie fauchée de ray-grass anglais. (Source : ITCF, Essai La Chapelle Montreuil (85) – 1986)

- Rendement optimal : cycle 1 : 6 tMS/ha, cycle 2 : 4 tMS/ha, cycles 3 et 4 : 1 tMS/ha

- Doses optimales : cycle 1 : 150 kgN/ha, cycle 2 : 80 kgN/ha, cycles 3 et 4 : 40 kgN/ha.

Figure 2: Yields for a perennial ryegrass grassland across four cutting cycles in response to N fertilisation.

Lorsque les besoins de N sont estimés non pas par cycle mais de manière globale pour toute la saison de production, il est tout de même recommandé de fractionner les apports dès lors que la dose annuelle d'azote à apporter dépasse 100 kg N/ha. Le premier apport doit être réalisé 200°C cumulés (base 0°C) après le 1er janvier afin de maximiser son effet (PROTIN et al., 2009). De plus, un apport azoté dans les 5 à 10 jours qui suivent une coupe d'herbe ou la sortie d'animaux d'une parcelle permet un redémarrage plus rapide des repousses pour le cycle suivant. A l'échelle de l'année, il est conseillé de répartir les trois quarts de la dose totale au printemps voire sa totalité si le potentiel de croissance de l'herbe est limité en été, la minéralisation N des sols en automne permettant la croissance limitée à cette saison. Les résultats de l'essai présenté en figure 2, où la somme des doses de N optimales des deux premiers cycles (coupes de printemps) représente près de 75% de la dose optimale totale pour l'année, illustrent bien cette recommandation.

Les besoins azotés instantanés d'une espèce fourragère n'ayant qu'une seule récolte annuelle comme le maïs fourrage ne sont pas les mêmes que ceux d'une prairie : les besoins précoces sont faibles et la période d'absorption maximale est comprise entre le stade 8-10 feuilles et fin floraison (figure 3). Dans ce cas, il est

généralement recommandé de fractionner la dose prévisionnelle calculée de manière à mettre le N à disposition du maïs en adéquation avec sa cinétique d'absorption. Si l'azote est apporté sous forme minérale, la dose du premier apport, entre le semis et le stade 4F, ne doit pas excéder 50 kg N/ha et il est même préconisé de retrancher à cette valeur celle des reliquats de N minéral présent dans le sol au semis. Ensuite, le solde de la dose prévisionnelle est à apporter entre le stade 8 feuilles, qui correspond au début de la phase d'absorption rapide de l'azote par le maïs, et le stade 12 feuilles, stade à partir duquel il devient difficile de

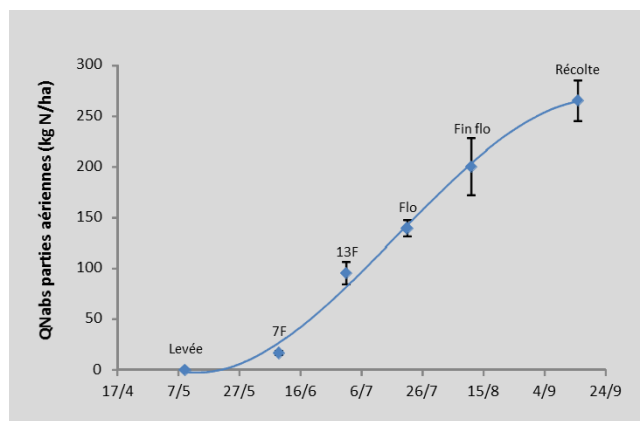


FIGURE 3: Exemple d'une cinétique d'absorption azotée d'un maïs (Source : ARVALIS, Essai Le Rheu, 2009).  
Figure 3: Example of maize N absorption dynamics.

revenir dans le maïs en tracteur.

Mais dans une majorité de situations, les apports organiques constituent une part importante de la fertilisation du maïs fourrage et la période optimale d'apport dépend alors du type de produits. Avant que l'azote qu'ils contiennent ne soit minéralisé, les fumiers de bovins entraînent une phase d'organisation qui est d'autant plus importante que leur rapport C/N est élevé (c'est le cas des fumiers pailleux). Il est donc préférable d'anticiper leur épandage par rapport au semis du maïs pour éviter que la « faim d'azote » consécutive à l'apport ne coïncide avec la période de forte absorption de N et n'induisse des effets dépressifs sur la culture. A l'inverse, dans le cas des lisiers, une part importante de l'azote est disponible pour la culture dès l'apport. Pour une meilleure synchronisation avec les besoins du maïs, il est recommandé d'apporter ce type d'effluents au plus près possible du semis ou même, si possible, après le semis, jusqu'au stade 6-8 feuilles tout en veillant à ce qu'il soit rapidement incorporé au sol pour éviter toutes pertes par volatilisation. Dans les deux cas, un apport complémentaire sous forme d'engrais minéral azoté peut être envisagé si l'apport de fumier ou de lisier ne permet pas à lui seul de couvrir les besoins du maïs.



### 3. Fumure phosphatée et potassique : un raisonnement à moyen ou long terme

Pour les espèces annuelles et les prairies temporaires, la méthode de raisonnement de la fertilisation PK élaborée par le COMIFER et s'appuyant sur l'analyse de terre fait référence (COMIFER, 2019). Le diagnostic repose sur l'exigence de la culture, la teneur à l'analyse de terre, l'historique de fertilisation de la parcelle et la gestion des résidus de la culture précédente. En fonction de ces différents critères, un coefficient multiplicateur (allant de 0 lorsqu'une impasse est conseillée à des valeurs supérieures à 1 en cas de conseil de renforcement de la fumure) est appliqué aux estimations de quantités de  $P_2O_5$  ou de  $K_2O$  exportées par la culture. Pour le K, les doses sont toutefois plafonnées à 200 kg  $K_2O$  /ha/an ; des suppléments de doses au-delà n'ayant jamais été valorisés dans les essais et des doses élevées favorisent la consommation de luxe.

Dans le cas des prairies permanentes, l'analyse de terre ne permet pas de réaliser un diagnostic pertinent de la fertilité PK de sols. En effet, dans ces situations sans travail du sol, on observe l'apparition d'un gradient de teneurs en  $P_2O_5$  et  $K_2O$  qui diminuent avec la profondeur qui rend difficile l'identification de seuils d'interprétation des analyses. De plus, les prairies permanentes sont rarement conduites à l'optimum de fertilisation azotée, ce qui complique le diagnostic sol du fait de l'interaction entre les facteurs nutritionnels limitants. En conséquence, aucune relation pertinente entre les teneurs en  $P_2O_5$  ou  $K_2O$  du sol et les pertes de rendement consécutives à une impasse de fertilisation P ou K, indispensable pour définir des seuils d'impasse, n'existe sur prairie permanente.

Pour ce type de production fourragère, le diagnostic préconisé s'appuie sur l'analyse d'herbe et des teneurs en N, P et K des tissus végétaux qui reflètent la capacité qu'a eue la plante à mobiliser ces éléments et donnent donc une indication de leur disponibilité dans le sol (THELIER-HUCHE et al., 1999).

En conditions de croissance satisfaisantes (absence de contraintes pédo-climatiques ou nutritionnelles), SALETTE et HUCHE (1991) ont montré que la composition des tissus végétaux présentait un équilibre entre les éléments N, P et K (figure 4). Des écarts par rapport à ce comportement sont le reflet d'une absorption insuffisante ou excessive de N, P, ou K.

Ces écarts peuvent être quantifiés à l'aide des indices de nutriments phosphore (IP) et potassium (IK) établis par DURU et THELIER-HUCHE (1997) à partir des relations d'équilibre entre les teneurs en N et P d'une part et en N et K d'autre part, observées pour des peuplements végétaux en conditions de croissance satisfaisante :

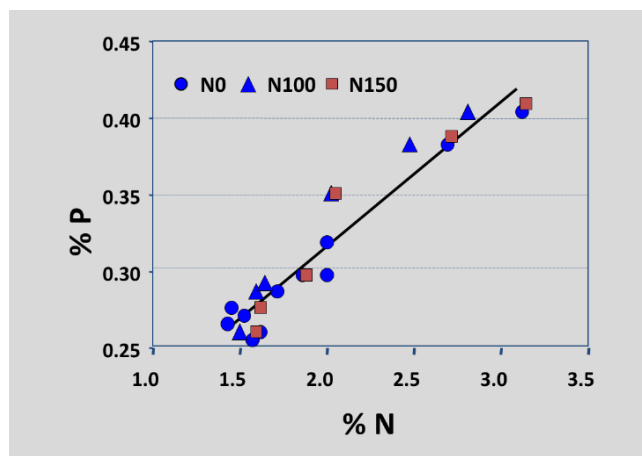


FIGURE 4 : *Relation linéaire entre les teneurs en N et P du ray-grass anglais au cours d'un cycle de croissance au printemps* (D'après Salette et Huché, INRA, 1991)  
Figure 4 : *Relationship between N and P levels in perennial ryegrass during the spring growing season*

$IP = 100 \text{ tP} / (0,15 + 0,065 \text{ tN})$  avec tP et tN, les teneurs en P et en N exprimées en % MS

$IK = 100 \text{ tK} / (1,6 + 0,525 \text{ tN})$  avec tK et tN, les teneurs en K et en N exprimées en % MS

La clé d'interprétation et le conseil de fertilisation associé à ces indices sont détaillés en figure 5.

Quelle que soit la méthode de diagnostic (analyse de terre ou d'herbe), il est conseillé de renouveler l'analyse tous les 5 ans (ou tous les 3 ans suite à un changement de pratiques de fertilisation en prairie permanente).

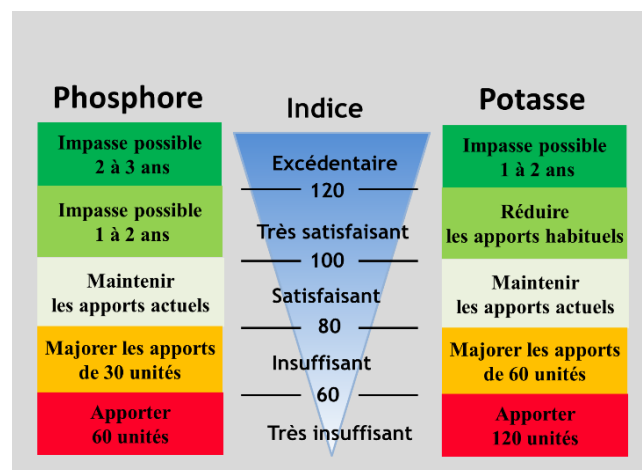


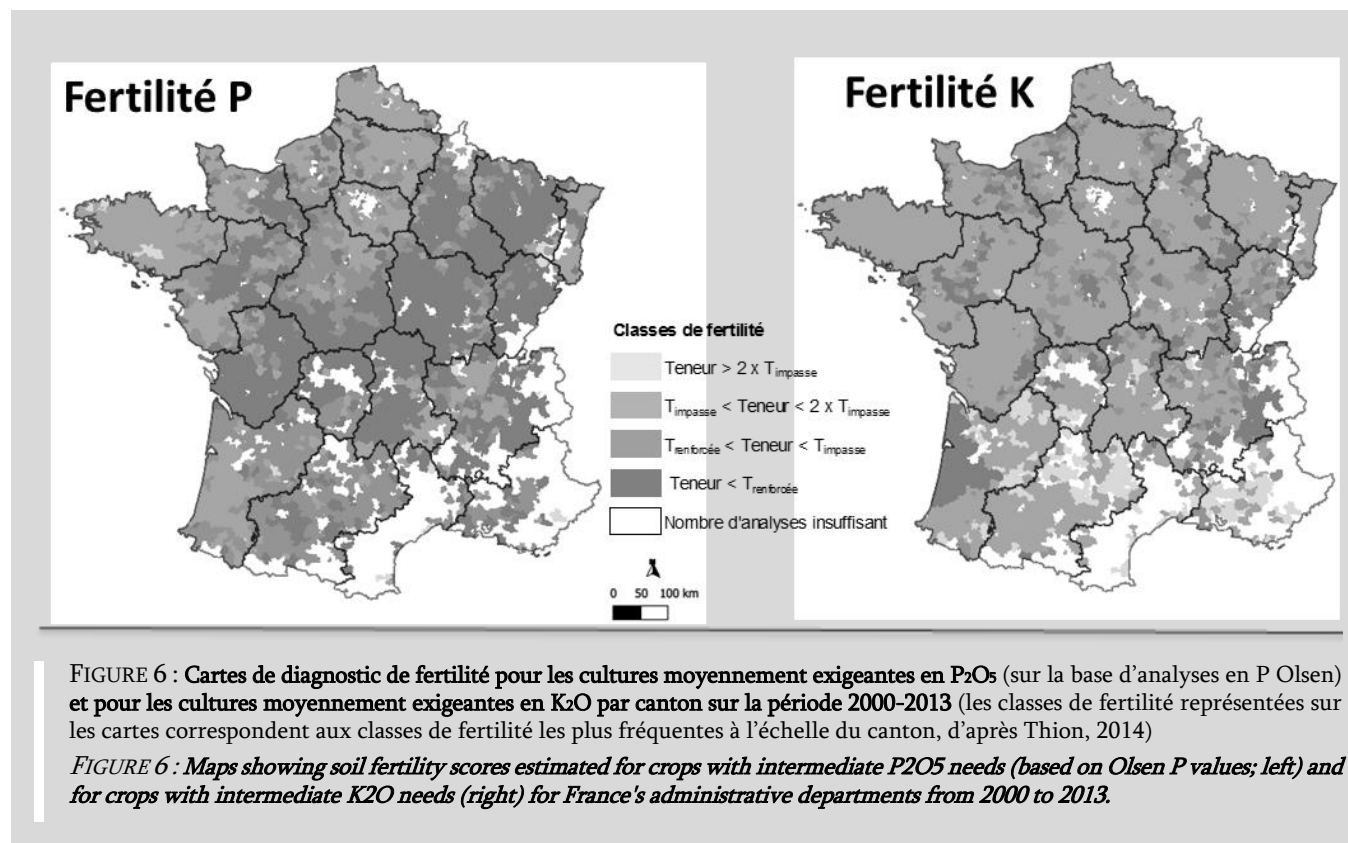
FIGURE 5 : *Préconisations de fertilisation PK selon le résultat de l'analyse foliaire* (d'après THELIER-HUCHE et al., 1999)

Figure 5 : *Recommended PK fertilisation regimes based the results of foliar analysis*

#### 4. Maintien de la fertilité des sols : une attention particulière à accorder au phosphore

Différentes cartes de diagnostic de fertilité P et K des sols ont été établies sur la base de 530 000 analyses de terre réalisées de 2000 à 2013 par les laboratoires SAS, AgroSystèmes et LCA en tenant compte du type de

sol et de l'exigence des cultures selon la méthode de raisonnement de la fumure PK du COMIFER (THION, 2014). Quatre classes de fertilité ont été définies en fonction des seuils  $T_{renforcée}$ ,  $T_{impasse}$  et deux fois la valeur de  $T_{impasse}$  notamment pour les cultures moyennement exigeantes en P et en K parmi lesquelles figurent la majorité des espèces fourragères (figure 6).



Les régions d'élevage de l'Ouest (Bretagne, Vendée, Normandie) présentent majoritairement des teneurs en  $P_2O_5$  comprises entre  $T_{impasse}$  et deux fois la valeur de  $T_{impasse}$  (figure 6). Cela correspond à des situations où la teneur du sol permet de faire des impasses de fumure P pour des cultures moyennement exigeantes et ce niveau de fertilité peut probablement s'expliquer du fait de la forte présence d'élevages et d'apports de matières organiques y étant associés. Dans d'autres régions telles que l'Ile de France et les Hauts-de-France, la raison de l'appartenance à cette classe de fertilité serait davantage liée à des niveaux de fertilisation minérale en  $P_2O_5$  historiquement élevés en lien avec la présence de cultures de forte exigence (pomme de terre, betterave sucrière). On retrouve également des teneurs en  $P_2O_5$  satisfaisantes au Sud et au Nord de l'Alsace, dans la plaine de l'Ain et dans les Landes. *A contrario*, un large croissant qui s'étend de la Lorraine jusqu'en Poitou Charentes et correspondant principalement à des sols caillouteux de type argilo-calcaire est caractérisé par des teneurs en  $P_2O_5$  inférieures au seuil de renforcement de la fumure pour les principales espèces fourragères (THION, 2014). Toutefois, les productions fourragères sont peu présentes dans cette zone géographique qui

correspond au principal bassin de production du colza (culture très exigeante en P) contrairement à l'Auvergne et au Limousin dont la majeure partie du territoire est également concerné par ces faibles teneurs en  $P_2O_5$  (figure 6).

Dans le cas du potassium, la classe correspondant aux teneurs en  $K_2O$  comprises entre  $T_{impasse}$  et deux fois la valeur de  $T_{impasse}$  pour les cultures moyennement exigeantes occupe la majeure partie du territoire français (figure 6). Quelques secteurs critiques, avec des teneurs inférieures au seuil d'impasse voire inférieures au seuil de renforcement de la fumure apparaissent néanmoins. Le principal, constitue un vaste triangle correspondant au département des Landes et à la façade littorale de la Gironde, les autres correspondent à des zones peu étendues et disséminées sur presque l'ensemble du territoire. Cependant, le niveau de fertilité des sols en potassium reste globalement plus satisfaisant que pour le phosphore.

Des travaux complémentaires s'appuyant sur une analyse de la BDAT (base de données des analyses de terre) montrent une diminution significative des teneurs du sol en  $P_2O_5$  sur la majorité du territoire (figure 7), et

plus particulièrement en régions Centre, Bretagne, Normandie, Picardie, Champagne-Ardenne, Lorraine, Bourgogne et Franche-Comté (SABY et al, 2017). Lorsque cette diminution se produit dans des zones où initialement les teneurs étaient élevées voire très élevées telles que les régions de l'Ouest et les Hauts-de-France, il peut simplement s'agir d'une conséquence de la mise en œuvre d'une gestion adaptée de la fertilisation. En revanche, cette évolution peut rapidement devenir préoccupante dès lors que des régions dont la teneur en  $P_2O_5$  des sols était historiquement moyenne voire faible sont concernées et nécessite alors d'être surveillée de près. C'est le cas pour « le croissant de sols argilo-

calcaires et de terres à cailloux » identifié précédemment. Cette baisse de fertilité des sols, qui touche aussi bien des régions d'élevage que des régions de grandes cultures, semble toutefois plus préoccupante dans ces dernières, probablement en lien avec une réduction importante des apports par les engrais minéraux. Pour le potassium, la situation semble moins alarmante : certes, on note une diminution des teneurs en  $K_2O$  dans le Centre, en Bretagne, Normandie et en Lorraine mais les teneurs restent, dans l'ensemble, supérieures au seuil d'impasse. Dans d'autres régions (Nord et Sud-Ouest), les teneurs ont même tendance à légèrement augmenter (figure 7).

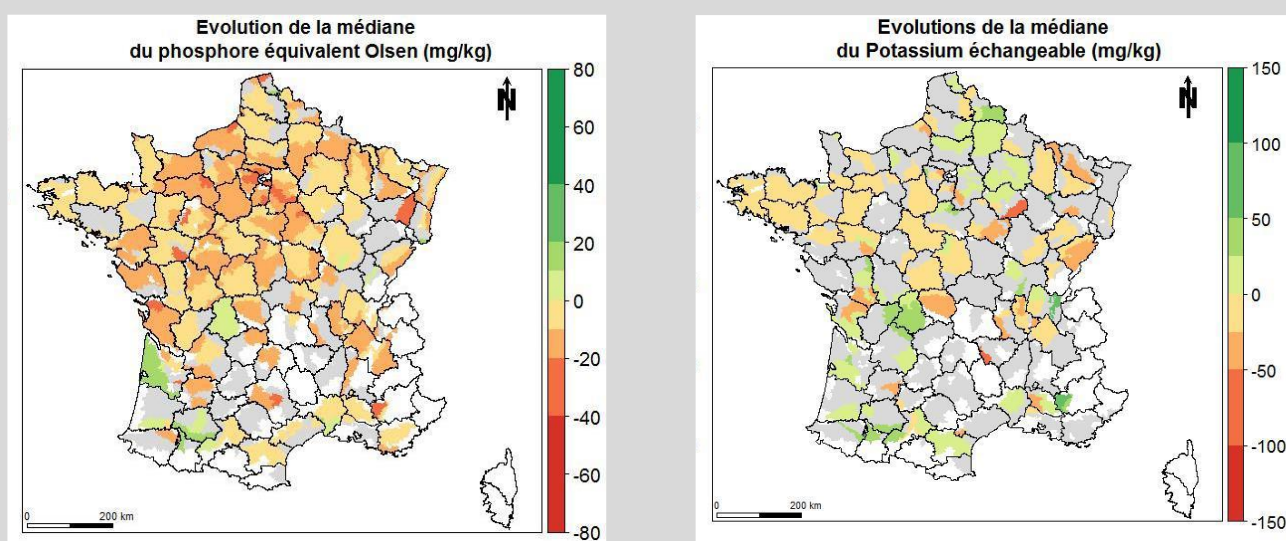


FIGURE 7 : Cartes de l'évolution des teneurs médianes par petite région agricole entre la période 1994-2004 et la période 2005-2014 pour le  $P_2O_5$  équivalent Olsen (gauche) et  $K_2O$  (droite) (en blanc : absence de données, en gris : nombre d'analyses insuffisant pour calculer une évolution, SABY et al, 2017)

Figure 7 : Maps showing changes in the median soil levels of  $P_2O_5$  (Olsen P values; left) and of  $K_2O$  (right) between 1994–2004 and 2005–2014 for small agricultural regions across France.

Ces diminutions, mises en évidence à l'échelle des petites régions agricoles, ne peuvent pas être généralisées à l'ensemble des situations et doivent avant tout inciter à une vigilance accrue face à ce risque de dégradation de la fertilité des sols. Dans tous les cas, un diagnostic à l'échelle de la parcelle reste indispensable pour identifier les situations où les teneurs du sol en  $P_2O_5$  Olsen ou en  $K_2O$  permettent des impasses de fertilisation.

L'évolution d'indices de nutrition phosphore (IP) calculés sur prairies à partir d'analyses foliaires réalisées par la Chambre d'agriculture d'Aveyron en

2004-2005 puis en 2019 semble confirmer cette baisse de fertilité en P observée au niveau national à partir des analyses de terre (THERON, 2019). Lors d'une première campagne d'analyses, sur près de 120 parcelles de prairies échantillonnées, plus de la moitié (73% en 2004, 51% en 2005) présentaient un état de nutrition P excédentaire (IP > 120). En 2019, 12 parcelles sur le même territoire ont fait l'objet d'analyses et seule l'une d'entre elles se trouvait en situation d'excédent (Figure 8). Ces premières observations restent toutefois à confirmer à l'aide d'un plus large échantillon.





Figure 8 : *Evolution de l'indice de nutrition phosphore sur prairies en Aveyron* (Theron, 2019, CA 12)  
 Figure 8 : *Changes across time in the P availability index for Aveyron grasslands.*

Une diminution des apports de P et de K par les engrais minéraux a pu être mise en évidence sur blé tendre grâce aux enquêtes « pratiques culturales » de 2001, 2006, 2011 et 2017 du service statistique et prospective (SSP) du ministère de l'Agriculture. Elle résulte à la fois d'une diminution des surfaces fertilisées et d'une diminution des doses d'apport (LE SOUDER et DEGAN, 2019). Une telle analyse n'a pas encore été étendue à d'autres espèces mais il est probable qu'une tendance similaire soit également observable pour d'autres cultures et notamment les principales espèces fourragères. Cette diminution des apports pourrait expliquer en partie le constat de diminution de fertilité P voire K des sols et semble cohérente avec la diminution constante des livraisons d'engrais observée depuis 1992.

Ces enquêtes « pratiques culturales » montrent aussi que les impasses de fertilisation minérale sont en général plus fréquentes et les doses d'apport plus faibles sur les cultures fourragères bien qu'elles soient plus exigeantes en P et K que les céréales. Ainsi, en 2017, à l'échelle nationale, respectivement 17% et 23% des surfaces de prairies permanentes et de prairies

temporaires seulement ont bénéficié d'apports d'engrais phosphatés minéraux contre 31% pour le blé tendre d'hiver (figure 8). Sur maïs, culture sur laquelle l'apport au semis d'engrais starter contenant du P est une pratique courante, les impasses sont plus rares mais on constate également que la part de surface fertilisée en maïs grain (66% des surfaces) est supérieure à celle du maïs fourrage (47% des surfaces). Les doses moyennes de P apportées sur ces surfaces fertilisées sous forme d'engrais minéraux sont de l'ordre de 30 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha pour les prairies, 45 kg pour le blé tendre et le maïs fourrage et 60 kg pour le maïs grain. En ce qui concerne le K, la part des surfaces de prairies fertilisées est pratiquement identique à celle du P (18% des surfaces de prairies permanentes et 22% des prairies temporaires) ce qui peut s'expliquer par l'emploi fréquent sur prairies d'engrais ternaires. En revanche, pour les autres cultures et notamment le maïs fourrage, les impasses de fertilisation minérale sont plus fréquentes pour le K que pour le P (21% de surfaces fertilisées pour le maïs fourrage et le blé, 41% pour maïs grain) avec des doses de K toutefois supérieures aux

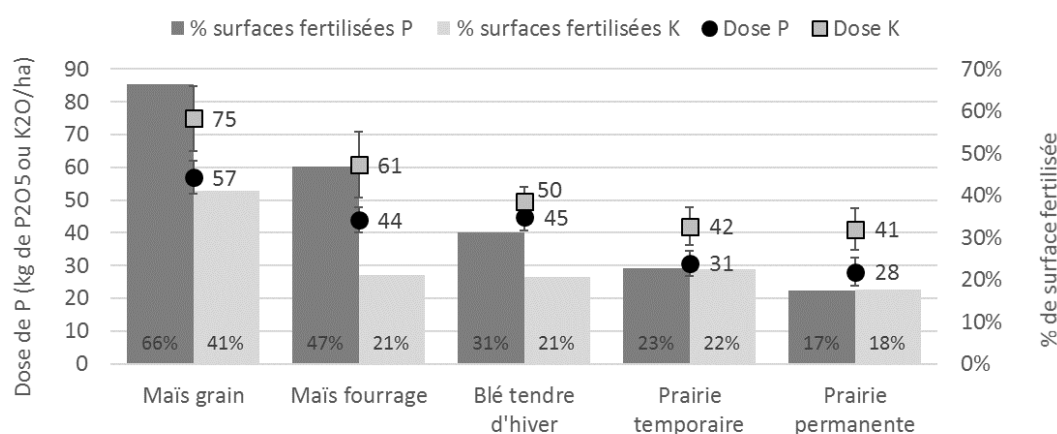


Figure 9 : *Pourcentage de surfaces recevant une fertilisation minérale et doses moyennes de P et K pour les principales cultures fourragères, le blé tendre et le maïs grain* (Source : Enquêtes Pratiques Culturales 2017 du Service de la Statistique et de la Prospective du Ministère de l'Agriculture).

Figure 9 : *Percentage of land subject to mineral fertilisation and the mean doses of P and K applied in the case of key forage crops, common wheat, and grain maize.*

doses de P, mais qui restent plus faibles sur prairies que sur blé et sur maïs fourrage que sur maïs grain

Ces différences de pratiques de fertilisation minérale entre cultures peuvent laisser penser que les besoins des cultures fourragères sont moins bien pris en compte que ceux de cultures à plus haute valeur ajoutée. **Toutefois, il ne faut pas oublier l'importance des apports d'effluents d'élevage**, sans doute plus fréquemment épandus sur les productions fourragères et les apports directs *via* les déjections des animaux au pâturage qui contribuent de manière significative à la satisfaction des besoins en P et K des cultures et permettent de réduire la fertilisation minérale. Par exemple, un apport de 30 t/ha de fumier de bovins apporte 95 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 330 kg/ha de K<sub>2</sub>O.

## Conclusion

Une gestion adaptée de la fertilisation des cultures fourragères reste essentielle, y compris dans un contexte climatique incertain, pour préserver toutes les chances d'atteindre le potentiel de rendement lors des années les plus favorables. En effet, une disponibilité insuffisante d'au moins un élément minéral pour satisfaire les besoins des plantes peut occasionner des pertes de rendement significatives. Selon les éléments, le raisonnement de la fertilisation n'est pas le même. Ainsi, pour l'azote, on cherche à ajuster la quantité et à adapter la période d'apport au plus près des besoins de la culture. Pour définir la dose à apporter, il est donc essentiel d'estimer correctement chaque année les besoins de la culture en tenant compte du potentiel de

la parcelle et des objectifs de production. Il convient également de considérer les fournitures par le sol, les apports d'effluents, les déjections des animaux et la contribution des légumineuses. Dans le cas du phosphore et du potassium, c'est une approche sur le moyen terme visant à maintenir ces éléments à des niveaux de biodisponibilité satisfaisants qui est privilégiée. Elle repose avant tout sur un diagnostic réalisé, selon le type de culture, à partir d'analyses régulières de terre ou de végétaux qui permet de juger de la nécessité ou non d'apporter une fumure à la culture.

Les pratiques de fertilisation PK, qui vont dans le sens d'une réduction des apports, en particulier pour le phosphore, peuvent en partie expliquer les diminutions de teneurs des sols en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et, plus localement, en K<sub>2</sub>O qui sont observées. Même si les impacts directs sur les rendements sont encore peu visibles, ces évolutions doivent inciter à une vigilance accrue en particulier dans les situations où ces teneurs sont déjà faibles. Enfin, d'autres facteurs de production tels que le soufre et le statut acido-basique des sols (qui peut impacter le développement racinaire, la disponibilité des éléments et la nutrition des plantes) nécessitent également d'être surveillés régulièrement.

*Article issu d'une intervention aux journées de Printemps 2020 « produire du fourrages demain dans un contexte de changements climatiques »*

Article accepté pour publication le 30 mars 2020

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AGRESTE (2018). "Une pousse d'herbe fortement déficitaire en 2018", Agreste Infos rapides, Prairies, octobre 2018, n°164 7/7, 3p. Disponible sur [www.agreste.agriculture.gouv.fr](http://www.agreste.agriculture.gouv.fr)
- AGRESTE (2019). "Une pousse d'herbe déficitaire sur la campagne 2019", Agreste Infos rapides, Prairies, octobre 2019, n°163 7/7, 3p. Disponible sur [www.agreste.agriculture.gouv.fr](http://www.agreste.agriculture.gouv.fr)
- ARVALIS (2011). "Fertilisation P-K - Raisonner pour agir", Brochure Arvalis, 44 p.
- COMIFER (2013). "Calcul de la fertilisation azotée ; guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales", Brochure COMIFER, 102 p. Disponible sur [www.comifer.asso.fr](http://www.comifer.asso.fr)
- COMIFER (2019). "La fertilisation P-K-Mg. Les bases du raisonnement", Septembre 2019. 39p.
- DONET I., LE BAS C., RUGET F., RABAUD V. (2001). "Informations et Suivi Objectif des Prairies – guide d'utilisation", Chiffres et Données Agriculture n°134, mars 2001. 55p.
- DURU M., THELIER-HUCHE L. (1997). "N and P-K status of herbage: use for diagnosis on grasslands", In: "Diagnostic procedures for crop N management", Les colloques de l'INRA, 82, 125-138.
- HUYGHE C., PEETERS A., DE Vlieghe, A. (2015). "La prairie en France et en Europe", In: "Adaptation des prairies semées au changement climatique", 16-17 novembre 2015, Poitiers, 13-23
- LE SOUDER C. DEGAN F. (2019). "Apports de phosphore. De forts écarts entre régions", *Perspectives Agricoles*, 472, 17-18.
- PIGEON G., SOUBEYROUX J.-M., DEQUE M. (2013). "Observations et projections climatiques à l'échelle de la France : l'exemple de la ressource en eau", *Fourrages*, 214, 91-97.
- PROTIN P.-V., CORRE-HELLOU G., NAUDIN C., TROCHARD R. (2009). "Impact des pratiques de fertilisation sur la productivité des prairies et mélanges céréales – protéagineux et la qualité du fourrage", *Fourrages*, 198, 115-130.
- SABY N., GOUNY L., LEMERCIER B., DENORAY P., EVEILLARD P. (2017). "Utilisation des données de la BDAT pour étudier l'évolution spatio-temporelle des teneurs en Magnésium échangeable, Potassium échangeable et Phosphore extractible dans les sols agricoles de France métropolitaine", hal-01581567, 89p.
- SALETTE J., HUCHE L. (1991). "Diagnostic de l'état de nutrition minérale d'une prairie par l'analyse du végétal : principes, mise en œuvre, exemples)", *Fourrages*, 125, 3-18.
- SOENEN B., BOUTHIER A. (2015). "Raisonnement de la fertilisation azotée du maïs fourrage : un levier pour améliorer sa production et sa qualité", In : Journées AFFF : "La fertilité des sols dans les systèmes fourragers", 8-9 Avril 2015, 97-100.
- THELIER-HUCHE L., FARRUGGIA A., CASTILLON P. (1999). "L'analyse d'herbe : un outil pour le pilotage de la fertilisation phosphatée et potassique des prairies naturelles et temporaires", 34p.
- THERON Z. (2019). "État des lieux de la fertilité en phosphore des sols aveyronnais", Rapport de stage de 2ème année de DUT, 83p.
- THION A. (2014). "Diagnostic de la fertilité chimique en PK des sols français – État actuel et simulation de quelques stratégies de fertilisation à venir", Mémoire de Fin d'Études, 129p.