

Comment optimiser la fertilisation des cultures légumières pour réduire les fuites d'azote ?

Etat des lieux des pratiques de fertilisation

APPORTS AZOTES MINÉRAUX ET ORGANIQUES

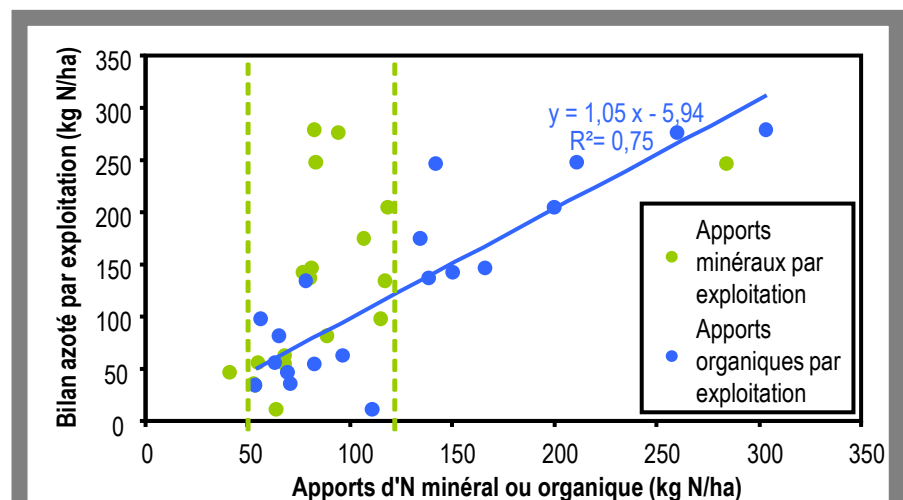
Selon une enquête menée dans la zone légumière de Cléder (Finistère) en 2000 (Roche, 2000) :

Fertilisation minérale : entre 50 et 120 kg N/ha/an

Fertilisation organique : entre 50 et 300 kg N/ha/an

BILAN AZOTÉ

En 2000, Roche montrait qu'alors l'excédent du bilan azoté à l'exploitation (fortement excédentaire du fait de l'utilisation de fumier de volailles pour contribuer à décharger les exploitations d'élevage de volailles voisines), était étroitement corrélé à la dose d'azote organique apportée : les producteurs ne prenaient pas en compte dans le calcul de la fertilisation azotée les résidus de culture et les fournitures du sol, dont les arrières-effets des produits organiques.



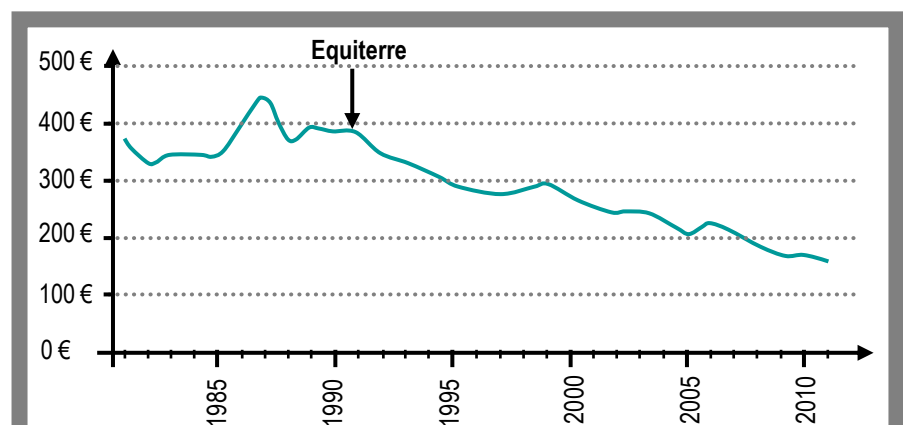
Bilan azoté par exploitation expliqué par les apports d'azote minéraux et organiques.

(d'après l'enquête publiée dans Roche, 2000)

Ceci était lié notamment au manque de connaissances par les producteurs sur la dynamique de minéralisation des résidus et des produits organiques pour anticiper les quantités d'azote disponibles pour la culture.

Actuellement, les valeurs de l'excédent du bilan azoté sont probablement plus basses, car le recours aux engrais minéraux a diminué de plus de moitié depuis les années 1990 (date de mise en place d'Equiterre et début de l'augmentation du prix des engrais).

Mais aucune enquête récente ne permet de faire un état des lieux complet des pratiques actuelles de fertilisation en systèmes légumiers.



Evolution des coûts (par ha) des engrais minéraux sur culture de chou-fleur (selon l'indice Ipampa sur résultats comptables).

(source : CA 29, CER France 29)

Connaissances sur l'impact de la fertilisation sur l'azote potentiellement lixiviable

La fertilisation azotée est à la fois responsable :

- de reliquats avant drainage plus importants lorsque l'azote est apporté en **excès par rapport à l'absorption** par les plantes,
- et d'une **minéralisation plus rapide et d'une plus grande quantité** d'azote.

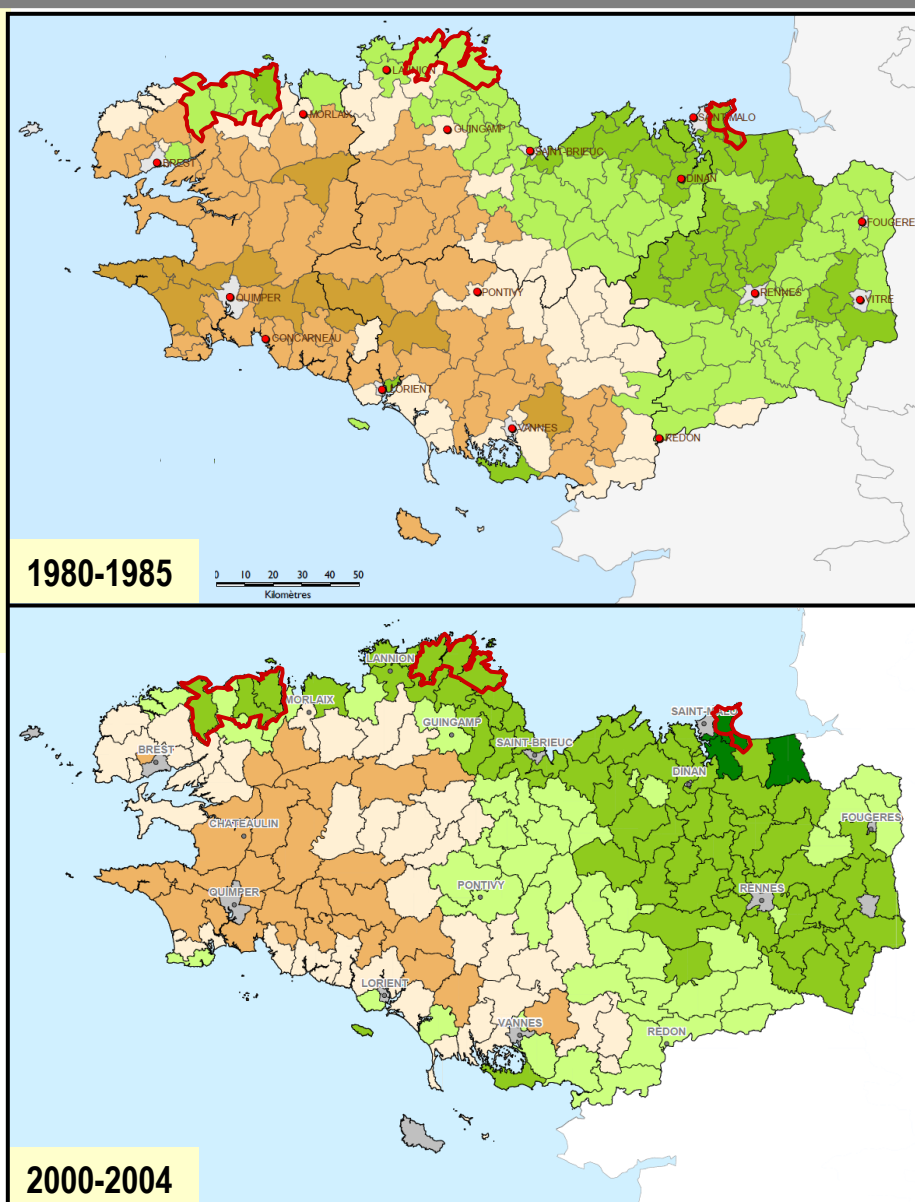
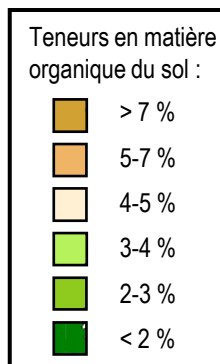
Cette plus forte minéralisation est liée à une stimulation de la biomasse microbienne minéralisatrice (+13 kg N/ha pour chou-fleur) et à un enrichissement en azote des résidus de culture (+34 kg N/ha pour chou-fleur, +25 kg N/ha pour artichaut fertilisés à 300 et 500 N par rapport à non fertilisés, Bissuel-Bélaygue et al., 2004, Mahmoud et Abd EL-Kader, 2012).

Connaissances sur l'évolution de la matière organique dans les zones légumières et ses conséquences

Evolution de la MO en Bretagne

La diminution du taux de matière organique en Bretagne n'est pas réduite aux zones légumières. Cependant, les taux dans ces zones étant déjà initialement bas, cette diminution atteint des niveaux préoccupants.

(d'après [GIS sol, sur bretagne-environnement.org](http://GISsol.sur-bretagne-environnement.org))



Cette diminution du taux de MO est liée à (Roche, 2000) :

- Température douce toute l'année entraînant une minéralisation basale importante
- Phénomène de dilution du fait des labours plus profonds
- Travail répété du sol dont l'aération accélère la minéralisation
- Restitution de déchets de récolte fortement décomposables et présence de beaucoup d'azote dans le sol, ce qui stimule les microorganismes minéralisateurs du sol
- pH élevés en zones légumières, du fait du chaulage, qui accroissent la minéralisation.

Connaissances sur l'évolution de la matière organique dans les zones légumières et ses conséquences (suite)

Conséquences sur la lixiviation

Alors que la teneur en matière organique a diminué de moitié, la quantité d'azote minéralisé et de nitrates lixiviés dans un sol nu n'a pas baissé sur 30 ans d'observation en cases lysimétriques, et ceci sans fertilisation ni travail du sol (F. Orsini, CATE, communication personnelle).

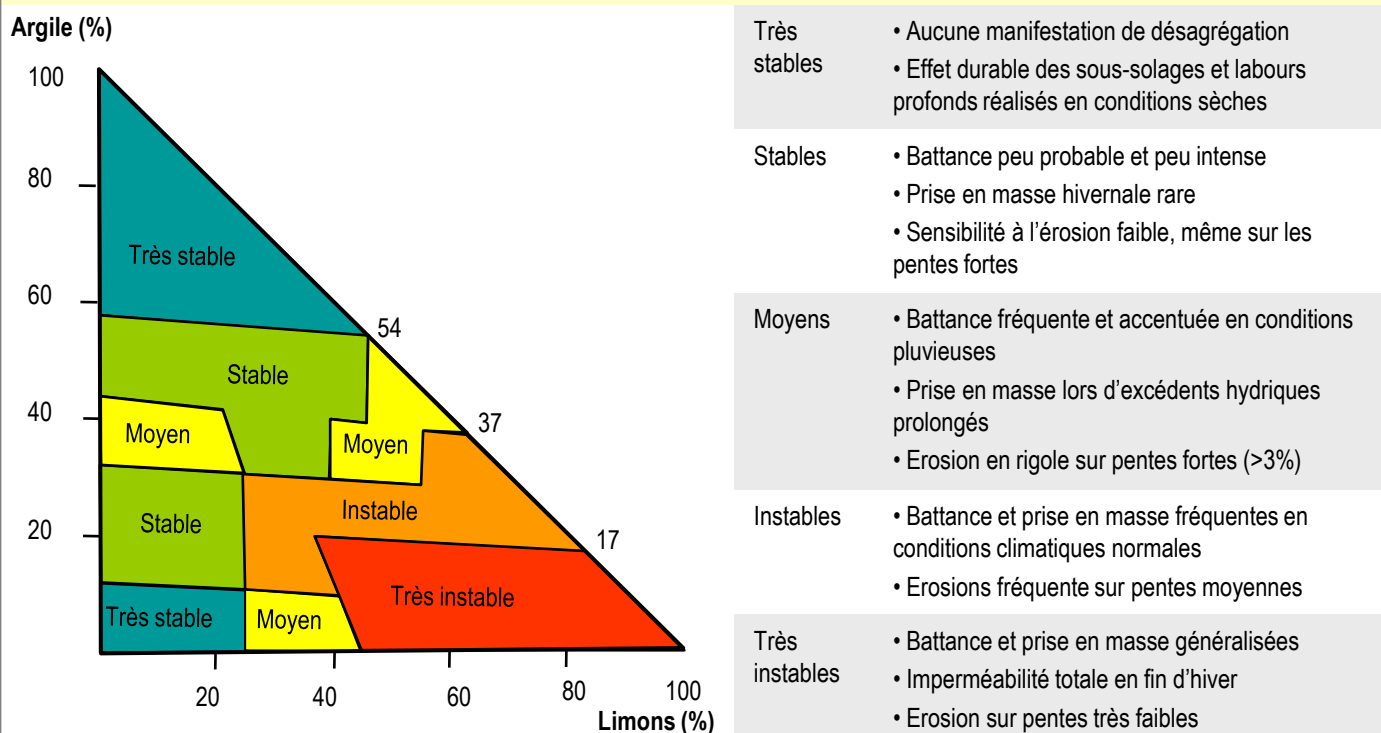
La baisse de la teneur en matière organique ne s'accompagne donc pas forcément d'une diminution de la minéralisation basale et de la lixiviation, par contre elle entraîne une déstructuration (compaction et désagrégation en surface) du sol qui nécessite plus de travaux du sol, ce qui aggrave les phénomènes de diminution de la MO et de fragilité de la structure du sol. Il est probable que la lixiviation augmente avec l'intensité du travail du sol, celui-ci stimulant la minéralisation. C'est pourquoi il est également important de s'intéresser au lien entre la teneur en matière organique et la stabilité structurale.

Conséquences sur la stabilité structurale des sols

Des effets négatifs de la diminution de la teneur en MO se font sentir sur la **qualité physique des sols**. Combiné à la texture et à l'intensité du travail du sol dans les systèmes légumiers, ce faible taux de matière organique est responsable de la désagrégation des sols en surface (notamment battance) souvent observés. En effet, les sols des zones légumières du Nord Bretagne sont jugés instables à très instables selon les classes de stabilité structurale établies par Monnier et Stengel (1982).

Triangle textural renseigné en classes de stabilité structurale

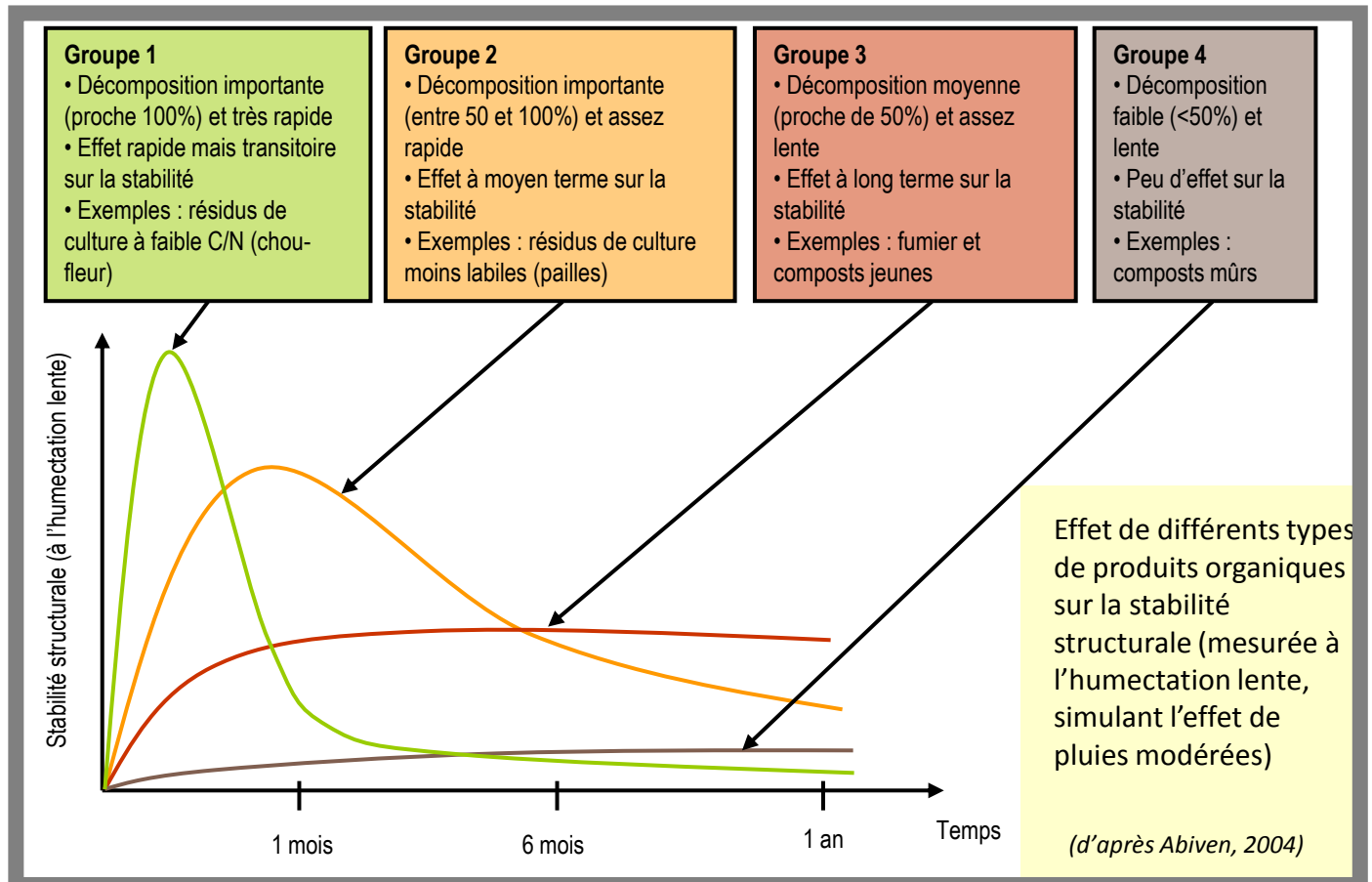
(d'après Monnier et Stengel, 1982)



Selon ces auteurs (Monnier et Stengel, 1982), les sols limoneux seraient très instables jusqu'à 2% de matière organique, instables à 3% MO et moyennement stables à 4% MO. D'autres références indiquent une stabilité structurale suffisante des sols des zones légumières pour des teneurs en matière organique bien inférieures (MO suffisante autour de 1,6-1,7% selon l'équation de Rémy et Marin-Lafîche, 1976, sols limoneux moyennement stables autour de 2% selon Le Bissonais, 2003, rapporté dans [AgroTransfert R&T et les CA Picardie, 2007](#)). Mais toutes ces références sont basées sur une appréciation globale de la structure des sols et donc qui relèvent plus de l'avis d'experts que de mesures. Mais les échantillons ayant servi à établir toutes ces relations n'incluaient pas des sols de culture légumière. Aujourd'hui le référentiel existant couvrant différentes textures, différents systèmes de cultures et différents types d'apport, ne permet pas encore de définir la teneur optimale de matière organique que doit avoir un sol.

Connaissances sur l'évolution de la matière organique dans les zones légumières et ses conséquences (suite)

La stabilité structurale d'un sol dépend du niveau de matière organique accumulée sur le long terme et de l'apport récent de matière organique. L'effet d'un apport récent dépendra très fortement de la qualité de la matière organique apportée. En effet, il s'avère que l'effet de l'apport d'un produit organique sur la stabilité structurale du sol dépend avant tout de l'activité biologique que génère sa décomposition (Abiven, 2004). Ainsi, le produit organique augmente d'autant plus fortement la stabilité structurale que sa décomposition est importante, mais cet effet est d'autant plus fugace que la décomposition est rapide.



L'apport de produits déjà stabilisés (cas des composts mûrs, **groupe 4**) a peu d'effet sur la stabilité structurale. Au contraire, les produits organiques à minéralisation très rapide (typiquement des résidus de culture à faible C/N, tels que ceux de chou-fleur, **groupe 1**) ont un effet très marqué mais fugace (de l'ordre de la semaine après l'apport). Cet effet est également important et plus prolongé (de l'ordre du mois) dans le cas des résidus de culture à fort C/N (tels que des pailles, **groupe 2**). Des produits organiques à décomposition plus progressive (tels que les fumiers et composts jeunes, **groupe 3**) ont un effet moins marqué mais plus durable sur la stabilité structurale (plusieurs années). Ces résultats sont valables pour la mesure de la stabilité structurale à une humectation lente (reproduisant l'effet de pluies modérées).

La **fréquence des apports** de produits organiques dépend donc de la nature du produit (son effet sur la stabilité structurale étant de plus ou moins longue durée) et du besoin de maintien ou de redressement de la stabilité structurale du sol.

Pour d'autres mesures de la stabilité structurale, la résistance à la désagrégation mécanique et celle à une humectation rapide reproduisant l'effet d'une pluie intense), ce sont les produits organiques de groupes 2 et 3 qui ont l'effet le plus marqué sur ces caractéristiques de la stabilité structurale (Abiven, 2004).

Les leviers en lien avec les systèmes de culture

Les conseils suivants se basent tous sur trois principes de base à respecter conjointement :

- connaître les besoins des cultures
- prendre en compte la fourniture par le sol (reliquats, minéralisation de la matière organique du sol), les apports organiques et les restitutions par les déchets de cultures
- faire correspondre au mieux les apports avec les besoins des cultures.

Raisonner la fertilisation en fonction des besoins des cultures

Certaines cultures ont tendance à être sur-fertilisées pour sécuriser les rendements et la qualité de la production (Terrom, 2012). Des outils de raisonnement de la fertilisation permettraient de rassurer les producteurs tout en s'approchant des stricts besoins des cultures.

- Dans chaque région, la Chambre d'Agriculture propose un accompagnement collectif par les réseaux **Equiterre** (dans le Finistère), **Fertijuste** (Ille-et-Vilaine) et **Fertiprim** (Côtes d'Armor). Pour chaque culture, plusieurs flashes de fin septembre à mars conseillent l'ensemble des producteurs du département en établissent une fourchette de la dose d'azote à apporter. Cette fourchette est basée sur des mesures d'azote nitrique (l'azote ammoniacal d'engrais récemment épandus n'étant pas pris en compte) du sol réalisées sur toute la zone légumière de la région et pour différents précédents culturaux. Selon le secteur (effet du pédoclimat) et le précédent cultural, on optera pour le haut ou le bas de cette fourchette. Cependant, d'autres facteurs (historique de la parcelle, taux de matière organique, fertilisation antérieure), qui jouent également sur la quantité d'azote présente dans le sol, induisent de grandes variations entre prélèvements d'un même secteur et pour une même culture. Pour sécuriser le rendement, le conseil s'appuie sur les valeurs moyennes de fourniture d'azote nitrique par le sol : une marge de progrès existe donc encore pour l'ajustement de la fertilisation à la parcelle (V. Estorgues, CA29, communication personnelle).
- Des conseils individualisés à la parcelle se développent avec l'action Etap'Azote et les outils Nitracheck et PILazo. L'**Etap'N** est un conseil individualisé basé sur des mesures de l'azote nitrique du sol proposé sur certains territoires concernés par le Plan Algues Vertes. L'exploitant peut également s'équiper lui-même de l'outil **Nitracheck**, cet appareil lui permettant de doser l'azote nitrique présent dans le sol à des périodes stratégiques pour le calcul de la fertilisation. L'investissement matériel est peu important (350 € le kit complet) et rapidement amorti par l'économie d'intrants azotés, mais cela demande un accompagnement pour la prise en main de l'outil et l'interprétation des résultats. La méthode **PILazo** (CTIFL, 2012 ; Raynal-Lacroix, 2012 ; Raynal-Lacroix et Porteneuve, 2007 et 2011), comparable à la méthode JUBIL sur blé, permet la détermination de l'état nutritif de la culture par dosage d'azote dans le jus de certains organes de la plante. Cette méthode est opérationnelle pour la carotte et la pomme de terre ; elle est en cours de validation sur chou-fleur (hiver 2013-2014 par CA29 dans le cadre d'un appel à projet Algues Vertes /DRAAF Bretagne).

Gérer les restitutions de déchets de récolte et prendre en compte leur valeur fertilisante dans les calculs pour la fertilisation

Selon la nature des résidus, ceux-ci fournissent à la culture suivante beaucoup ou peu d'azote (voir [fiche n°10](#) pour les quantités d'azotes restituées par chaque culture). Ainsi, les résidus de chou-fleur apportent une grande quantité d'azote (environ 180 kg N/ha). Ces quantités peuvent être plus importantes sur l'année lorsque deux cultures de légumes se succèdent (Pacault, 2005).

Les leviers en lien avec les systèmes de culture (suite)

Gérer les restitutions de déchets de récolte et prendre en compte leur valeur fertilisante dans les calculs pour la fertilisation (suite)

- Adapter la fertilisation en fonction des quantités d'azote restituées par ces déchets de culture et des besoins de la culture suivante. Les résidus de culture de chou-fleur peuvent contribuer pour moitié à la fertilisation azotée de la pomme de terre suivante (Akkal-Corfini et al., 2010a) et aucun apport supplémentaire d'azote n'est nécessaire pour le drageon d'artichaut suivant le chou-fleur (Terrom, 2012). Si la fertilisation est bien gérée, la plupart des restitutions azotées sont valorisées par la culture suivante ou organisées dans le sol, mais peu sont perdues par lixiviation (Terrom, 2012).
- Raisonner les successions en fonction de la quantité d'azote restitué (voir [fiche n°10](#)). Pour éviter la lixiviation de l'azote provenant de résidus de culture particulièrement riches en azote et rapidement minéralisables, il faut s'assurer de la mise en place immédiate d'une culture mobilisant de grandes quantités d'azote. Laissés sur un sol nu, ces résidus risqueraient d'accroître fortement la quantité d'azote minéralisé puis lixivié en période de drainage (Bissuel-Bélaygue, AgroCampus Ouest, communication personnelle).

Actuellement, les restitutions sont prises en compte par l'effet précédent « riche », « moyen » ou « pauvre » : une dose d'azote est préconisée pour la culture en fonction de la catégorie dans laquelle le précédent se situe (voir les détails des quantités d'N restituées dans la [fiche 10](#)).

Précédents pauvres (laissent 0 à 50 kg N/ha dans les restitutions)	Précédents moyennement riches (laissent 50 à 100 kg N/ha dans les restitutions)	Précédents riches (laissent plus de 100 kg N/ha dans les restitutions)
<ul style="list-style-type: none">• Céréales• CIPAN après céréales• Chou pomme (<i>fort taux de récolte</i>)• Pomme de terre (<i>récoltée août-sept.</i>)• Drageon• Ray-grass annuel fauché• Sol nu l'hiver• Oignon• Poireau• Échalote• Endive et céleri• Salade	<ul style="list-style-type: none">• Brocoli et chou-fleur (<i>récoltés automne</i>)• CIPAN après précédent riche• Chou pomme (<i>faible taux de récolte</i>)• Pomme de terre (<i>récoltée mai-juin</i>)• Artichaut de 2 ans et plus• Carotte• Épinard• Pois	<ul style="list-style-type: none">• Brocoli et chou-fleur (<i>récoltés printemps</i>)• Chou-fleur d'hiver• Vieille pâture de 3 ans et plus• Haricot

(d'après [CA Bretagne, 2008](#))

Le raisonnement de la fertilisation pourrait être affiné par la prise en compte de la quantité d'azote minéral ou rapidement minéralisable des déchets de récolte (Pacault, 2005). Des études sont néanmoins nécessaires pour préciser la part de l'azote restitué qui pourra être utilisée par la culture suivante (effet direct) et celle qui sera progressivement mise à disposition des cultures suivantes (arrière-effet).

Attention : les restitutions des déchets de récolte des légumes peuvent être vecteurs de maladies (Akkal-Corfini et al, 2010b). Le choix des pratiques se réfléchit globalement en intégrant les autres préoccupations environnementales et économiques, et non seulement les risques de pollution azotée.

Adapter la nature et la fréquence des apports de matières organiques aux besoins et prendre en compte leur valeur fertilisante dans les calculs pour la fertilisation

Nous incitons à combiner des objectifs d'amélioration de la stabilité structurale et de fertilisation en favorisant des apports organiques. Dans ces sols facilement compactés et battants, l'amélioration de la stabilité structurale permettrait d'éviter les travaux de sous-solage et de décompactage précédent l'implantation de chaque culture, ces travaux stimulant la minéralisation. Cependant, l'achat de ces produits organiques est coûteux pour les producteurs, ce qui limite actuellement leur utilisation (Roche, 2000).

- **Prendre en compte la dynamique de libération des éléments nutritifs** (effet direct et arrières-effets) dans les calculs pour la fertilisation. Des outils de pilotage de la fertilisation sont alors nécessaires, tels que l'estimation très régulière de la fourniture par le sol via la mesure des reliquats et l'état nutritif de la culture par l'outil PILazo. On pourra également prévoir la dynamique de minéralisation par l'utilisation de modèles, tels que le modèle AMG (Andriulo et al., 1999) développé par Agro-Transfert R&T, ou l'outil de pilotage de la fertilisation azotée Azofert (Dubrulle et al., 2004 ; [Machet et Dubrulle, 2009](#)). Ces outils devront être au préalable testés en conditions réelles et paramétrés de manière adaptée au secteur. On pourra encore utiliser des outils fonctionnant à l'échelle de la succession qui permettent de raisonner la fertilisation en prenant en compte les arrières-effets des apports successifs (ex : Syst'N, en projet d'adaptation sur cultures légumières).

- **Préférer des apports fréquents** à des apports massifs en une fois, ce qui permet de stimuler la biomasse microbienne, qui est responsable de la stabilité structurale (Abiven, 2004).

- **Varié la nature des apports organiques** : ceux qui se décomposent rapidement ont un impact sur le court terme, tandis que ceux qui se décomposent progressivement agiront sur la stabilité structurale sur le long terme. Privilégier des apports de MO de groupes 2 et 3 (Abiven, 2004). Des apports de MO à décomposition lente peuvent être intéressants dans des contextes visant à entretenir le taux de MO et à libérer progressivement l'N (ex : artichaut, besoins plus prononcés en 2^{ème} et 3^{ème} année, tandis que l'apport ne peut se faire qu'en 1^{ère} année). Il est moins facile de prévoir la quantité de nutriments mis à disposition de la culture par des produits organiques à décomposition lente. Des engrais organiques se décomposant rapidement et libérant beaucoup d'éléments nutritifs pour la culture suivante présentent l'intérêt d'être plus faciles à gérer. Cependant, la disponibilité en azote de ce type de produit organique étant rapide, le risque de lixiviation peut être accru si les apports ne correspondent pas aux besoins des cultures (que ce soit pour la période ou la dose d'azote disponible) : ces apports doivent être raisonnés dans le plan de fertilisation. Attention à l'apport trop répété de certains engrais organiques (notamment les fumiers de volailles), pouvant entraîner une accumulation en certains éléments (notamment en phosphore ; Roche, 2000).

L'utilisation plus massive d'effluents d'élevage (aux caractéristiques sanitaires acceptables) en production légumière pourrait contribuer au transfert d'effluents au sein d'un territoire, afin de décharger les zones d'élevage en ZES qui jouxtent les zones de production de légumes. Mais ces transferts ont un coût : des échanges contre de la paille ou du méteil sont souvent envisagés, alors que la paille présente également un intérêt à être restituée sur les parcelles pour limiter le tassement du sol et en augmenter le taux de MO. Une organisation à l'échelle du territoire et des compensations financières faciliteraient le développement de ces transferts.

Pour aller plus

loin...

- Chambre d'Agriculture du Finistère (2002) *L'agronomie et la fertilisation des cultures légumières*. Comité de Développement des Agriculteurs de la Zone Légumière et Chambre d'Agriculture du Finistère (Saint-Pol-de-Léon, France), 142 pages.
- Chambres d'Agriculture de Bretagne (2008) *Fertilisation des légumes frais de plein champ : guide pratique 2008*. Comité de Développement de Zone Légumière du Nord-Finistère et Chambres d'Agriculture de Bretagne (France), 47 pages. [Lien](#)
- CTIFL (2012) *Éléments de décision pour une fertilisation raisonnée en azote sur les cultures fruitières et légumières*. CTIFL, 10 pages. [Lien](#)
- Raynal-Lacroix C. et Porteneuve C. (2011) *Optimiser la fertilisation azotée du chou-fleur d'hiver : bilan de 8 années d'essai*. Infos-Ctifl, 277 : 45-49. [Lien](#)

Autres références citées :

- Abiven S. (2004) *Relation entre caractéristiques des matières organiques apportées, dynamique de leur décomposition et évolution de la stabilité structurale du sol*. Thèse de Doctorat, Agrocampus Rennes (Rennes), 262 pages. [Lien](#)
- Akkal-Corfini N., Morvan T., Menasseri-Aubry S., Bissuel-Bélaygue C., Poulain D., Orsini F., Leterme P. (2010a) *Nitrogen mineralization, plant uptake and nitrate leaching following the incorporation of (15N)-labelled cauliflower crop residues (Brassica oleracea) into the soil: a 3-year lysimeter study*. Plant and Soil, 328 (1/2) : 17-26.
- Akkal-Corfini N., Glerant P., Carpentier A., Faloya V. (2010b) *From understanding of current cropping system to co-building of profitable systems with low levels of inputs in open-field vegetable production*. 28th International Horticultural Congress, 22-27 juillet 2010, Lisbonne (Portugal), poster.
- Andren O., Paustian K. (1987) *Barley straw decomposition in the field: a comparison of models*. Ecology 68(5) : 1190-1200.
- Andriulo A., Mary B., Guérif J. (1999) *Modelling soil carbon dynamics with various cropping sequences on the rolling pampas*. Agronomie 19(5) : 365-377.
- Bissuel-Bélaygue C., Akkal-Corfini N., Menasseri S., Leterme P. (2004) *Effect of N fertilization of cauliflower crop on C and N mineralization from crop residues (field and laboratory incubation experiments)*. ISHS Symposium "Towards Ecologically Sound Fertilisation Strategies for Field Vegetable Production", 7-10 Juin 2004, Pérouse (Italie), poster.
- Dubrulle P., Machet J.-M., Damay N. (2004) *Azofert : a new decision support tool for fertiliser N recommendations*. In : « Controlling nitrogen flows and losses », 12th Nitrogen Workshop, 21-24 Septembre 2003, Université d'Exeter, Devon (Grande-Bretagne), pages 500-501.
- Hénin S., Dupuis M. (1945) *Essai de bilan de la matière organique du sol*. Annales Agronomiques 15(1) : 17-29.
- Le Bissonnais Y., Duval O., Chenu C. (2003) *Comment mesurer la stabilité structurale des agrégats du sol pour évaluer sa sensibilité à la battance et à l'érosion ?* In : « Les fertilités du sol et les systèmes de culture » 6^{èmes} rencontres de la fertilisation raisonnée (COMIFER) et de l'analyse de terre (GEMAS), 18-19 novembre 2003, Blois (France), pages 9-106.
- Machet J.-M., Dubrulle P. (2009) *Fertilisation azotée des cultures: la nouvelle méthode AZOFERT*. In : « Pour une fumure efficace préservant l'environnement » Journées d'information en agriculture d'Agroscope, 6 Février 2009, Changins-Nyon (Suisse). [Lien](#)
- Mahmoud E.K., Abd EL-Kader N.K. (2012) *How the nitrogen fertilization dose affects the biochemical composition and net mineralization of the artichoke residues?* Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 12 (1) : 23-31.
- Monnier G., Stengel P. (1982) *La composition granulométrique des sols : un moyen de prévoir la fertilité physique*. BTI 370-372 : 503-512.
- Pacault C. (2005) *Impact des systèmes de culture sur la qualité du sol et de l'eau : Cas des systèmes légumiers de plein champ du Nord Finistère*. Mémoire de DAA Agrocampus Rennes, 49 pages.
- Raynal-Lacroix C. (2012) *Optimiser les fertilisations : éléments clés de la qualité des légumes*. Colloque AgriRéseau « Recherches et Innovations Technologiques », Dummondville (Québec, Canada), 13 et 14 Février 2013. [Lien](#)
- Raynal-Lacroix C. et Porteneuve C. (2007) *La fertilisation azotée du chou-fleur d'hiver*. Infos-Ctifl, 235 : 41-46.
- Roche V. (2000) *Le retour des moissons dans le Léon ! Etat initial de l'opération locale agri-environnementale légumière de Cléder*. Mémoire de fin d'études, ENSAR (Rennes), 51 pages.
- Rouan C. (2001) *Effets d'amendements organiques sur la stabilité structurale de sols limoneux en systèmes légumiers bretons*. Mémoire de fin d'étude de l'ENSAR (Rennes), 43 pages + annexes.
- Terrom M. (2012) *Bilan azoté à l'échelle de la rotation chou-fleur/artichaut : devenir des résidus d'artichauts marqués au 15N dans des cases lysimétriques*. Mémoire de Master AgroCampus Ouest / Université de Rennes 1 (Rennes), 45 pages.



Rédaction : Pascaline MOREAU (AGROCAMPUS OUEST)

Encadrement du projet : Matthieu CAROF (AGROCAMPUS OUEST), Catherine GRIMALDI (INRA), Virginie PARNAUDEAU (INRA)

Apport de données : Vianney ESTORGUES (Chambre d'Agriculture du Finistère), François ORSINI (CATE)

Relecteur : Yann BINAUT (Syndicat Mixte du Trégor)

Validation scientifique : Nouraya AKKAL-CORFINI (INRA)

Ces fiches ont été réalisées avec le soutien financier de la Région Bretagne