

GESTION DE LA MATIERE ORGANIQUE DANS LES SOLS DE LIMAGNES (PUY-DE-DOME): RISQUE ET DECISIONS

PIQUET-PISSALOUX Agnès ⁽¹⁾, MAILLARD Valérie et BOURREL Sabrina
(1) Ecole Nationale d'Ingénieurs des Travaux Agricoles Clermont (ENITA Clermont),
Marmilhat, 63370 Lempdes ; piquet@enitac.fr

Avec la collaboration de la CDA 63, de Domagri et des CETA Val de Morge et Limagne Nord. Financement FNADT MC.

Résumé

Les Limagnes, plaines agricoles du centre du département du Puy de Dôme se sont progressivement spécialisées à partir des années 1970 vers des systèmes grandes cultures valorisant des terres relativement riches et délaissant les systèmes d'élevage. Cette forte spécialisation conduit aujourd'hui la Profession agricole à s'interroger sur la situation organique de ces sols. Pour répondre à ce questionnement, une grille d'évaluation du risque de diminution organique des sols a été proposée à l'échelle du système de culture permettant de caractériser le système, d'identifier les facteurs de risque à l'origine de la diminution et en conséquence de proposer des adaptations techniques. Ainsi, à partir d'une base de données sol, cinquante exploitations agricoles ont été choisies sur l'ensemble des Limagnes. Une enquête a été conduite à l'échelle du système de production et du système de culture. A partir de l'ensemble des résultats obtenus des 67 systèmes de culture et sols suivis, une évaluation a été développée associant le niveau des pertes d'humus sous forme de lettre (A : faible perte d'humus; C : forte perte d'humus) et le niveau des gains en humus sous forme de chiffre (1 : fort gain en humus; 4 : faible gain en humus). La note obtenue permet ainsi de caractériser les systèmes de culture selon trois catégories : améliorant, neutre ou à risque vis-à-vis de l'évolution de la matière organique des sols. Sur les 67 parcelles étudiées, 24% des systèmes sont à risque et 48% sont neutres. Les systèmes à risque s'expliquent à la fois par le sol (texture) et les pratiques agricoles (travail du sol, devenir des pailles, nature des espèces constitutives de la rotation). L'étude cherche maintenant à recenser l'évolution de la situation organique des sols à l'échelle des Limagnes et à sensibiliser l'ensemble des agriculteurs à cette problématique organique.

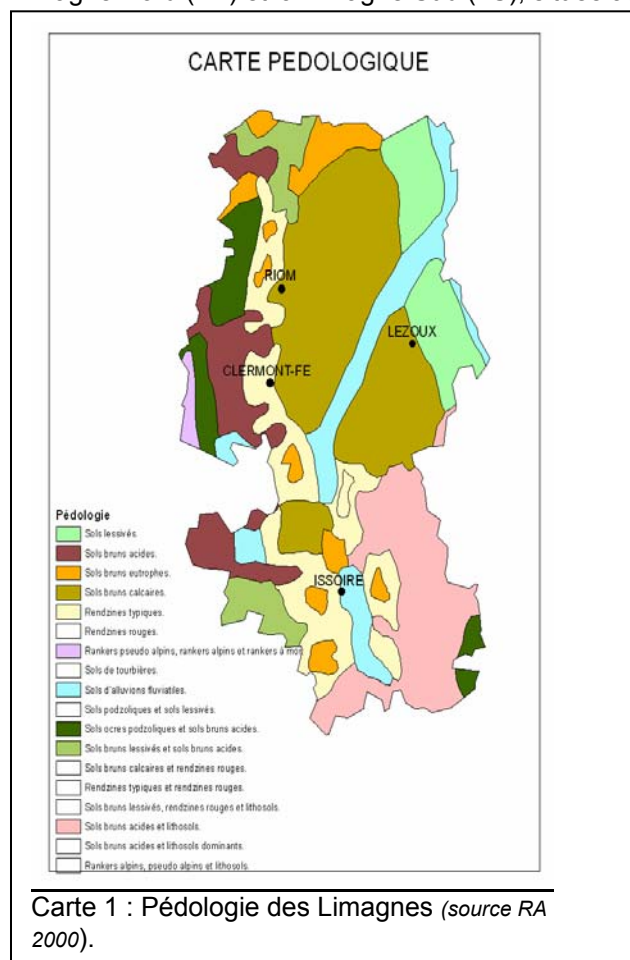
Contexte de la région agricole des Limagnes et objectifs

La plaine agricole des Limagnes est représentée par deux Petites Régions Agricoles (PRA), la Limagne Nord (LN) et la Limagne Sud (LS), située au centre du département du Puy de Dôme.

Essentiellement tournées vers les grandes cultures, ces PRA se distinguent par leur contexte pédoclimatique et par les systèmes de culture.

Les sols (Carte 1) de LN sont représentés par une zone de sols très fertiles (les Terres noires de Limagne avec un complexe «matière organique-argile» très stable (Bornand et al, 1984)) entourée de sols argilo-calcaires. La LS est essentiellement composée de sols argilo-calcaires plus ou moins profonds. Des sols d'alluvions sont retrouvés le long de la rivière Allier qui traverse le département selon l'axe nord/sud.

Par la diminution progressive de la Surface Toujours en Herbe (STH) au profit des terres labourables, les données des recensements agricoles de 1979, 1988 et 2000 témoignent d'une spécialisation progressive des systèmes vers les grandes cultures. Le blé tendre est la culture dominante (35% de la SAU) des deux régions. Par contre la deuxième culture principale est représentée en LN par le maïs (grain et semence) et en LS par les oléagineux. L'irrigation a contribué à réguler la production dans les deux régions (LN 12%, LS 7% SAU).



Des événements majeurs dans l'histoire des Limagnes ont contribué à cette spécialisation valorisant ainsi des terres relativement riches : la mise en œuvre du drainage et le développement de la coopérative LIMAGRAIN avec la commercialisation des hybrides de maïs dans les années 70. Cette évolution a conduit à la quasi-disparition des déjections animales de cette région, à une forte mobilisation du sol et au développement de rotations et de conduites de culture spécifiques aux filières de qualité. De par ces particularités, et pour répondre aux interrogations de la Profession Agricole concernant la situation organique de ces sols, le projet a pour objectif de construire une démarche globale à l'échelle du système de culture capable d'estimer l'évolution de la matière organique des sols de Limagnes. Cette démarche a conduit à une grille d'évaluation du risque de diminution organique des sols. La grille fournie aux agriculteurs permet de caractériser leurs systèmes de culture, d'identifier les facteurs de risque à l'origine de la diminution et en conséquence de leur proposer des adaptations techniques.

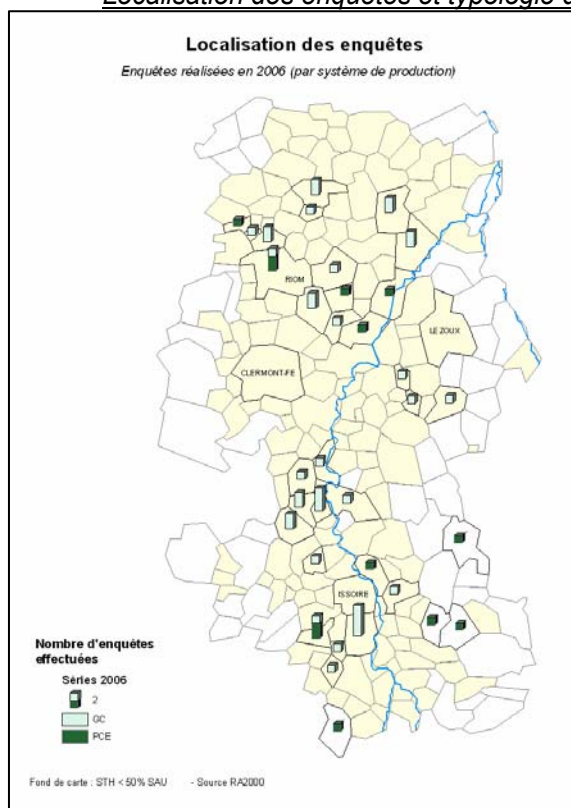
Méthodologie d'étude

La démarche suivie comporte trois étapes :

- des enquêtes ont été conduites auprès d'exploitations agricoles représentatives des différents systèmes de production répartis sur l'ensemble des Limagnes. Elles ont permis de dresser une typologie de cinquante exploitations agricoles (environ 5000 ha ; 4.7% SAU des Limagnes)
- De ces enquêtes, une étude du système de culture et du sol à l'échelle parcellaire a permis d'établir le bilan humique de chaque parcelle renseignée. Des résultats obtenus, une hiérarchisation des facteurs responsables de la diminution de la matière organique des sols et la constitution de la grille d'évaluation ont pu être envisagées
- à partir de la grille établie, un recensement global à l'échelle des Limagnes est actuellement engagé afin de définir la part des systèmes à risque et des systèmes neutres. Cette troisième étape a pour objectif de sensibiliser l'ensemble des agriculteurs à la matière organique des sols, aux facteurs de risque du système de culture et aux solutions techniques associées.

Caractérisation des systèmes de culture à risque : conception d'une grille d'évaluation

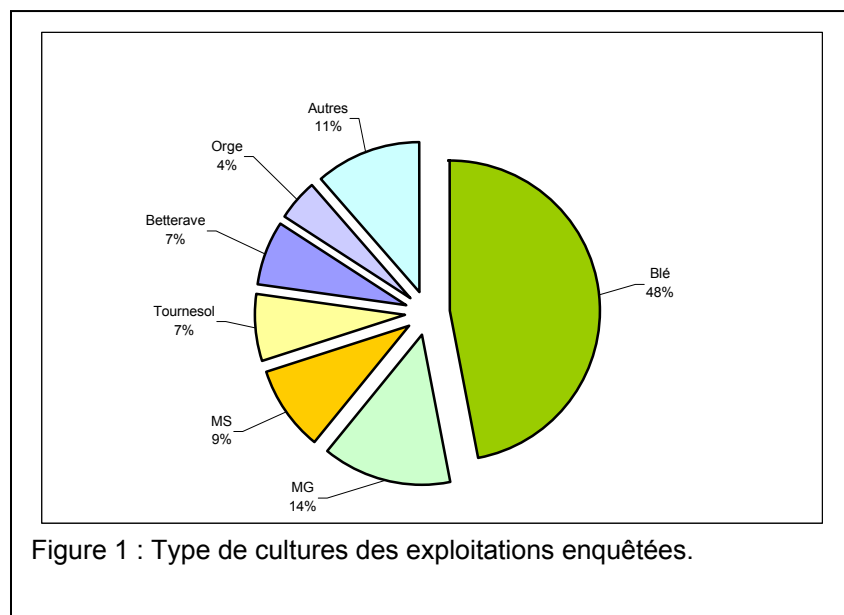
Localisation des enquêtes et typologie des exploitations



Carte 2 : Localisation des enquêtes.

Les cinquante exploitations agricoles enquêtées (Carte 2) représentent 4954 ha de SAU (dont seulement 325 ha de STH) soit 4.7% de la SAU des 2 PRA. Respectivement 24 et 26 exploitations ont été suivies en LN et LS.

La majorité des exploitations enquêtées ont des systèmes Grandes Cultures (37 sur 50) souvent avec des cultures spécialisées (maïs semence, tabac, pomme de terre). Des exploitations avec élevage (bovin ou volaille) produisant des fourrages pour l'autoconsommation mais également des cultures de ventes ont été volontairement intégrées (13 sur 50) afin de s'assurer de la situation organique de leurs sols.



Le blé tendre, culture dominante (48% de la surface totale), est présent dans 96% des exploitations enquêtées (Figure 1). Il est suivi par le maïs grain (14% de la surface totale) et le maïs semence (9%). Les autres cultures rencontrées sont : le tournesol, la betterave, l'orge, le maïs ensilage, le colza, le pois et le tabac.

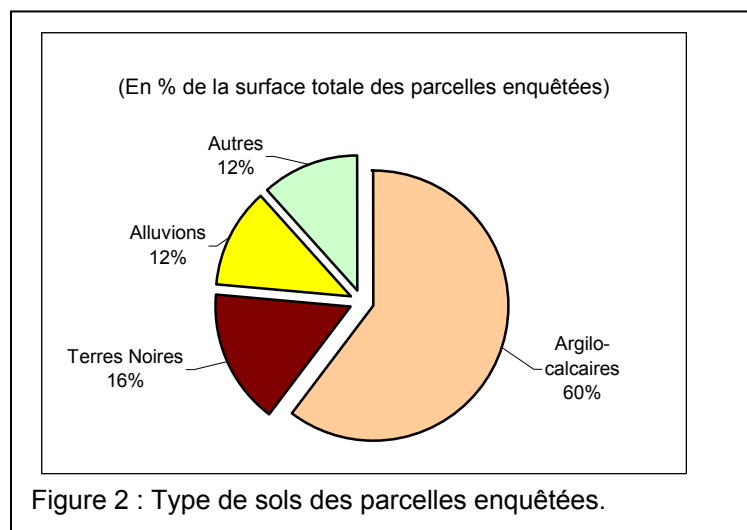
L'irrigation est présente dans 74% des exploitations et est utilisée sur 26% de la surface cultivée en grandes cultures chaque année.

En terme de gestion organique, les enquêtes ont portées sur le devenir des pailles de céréales et les apports organiques. Les pailles sont majoritairement exportées : 50% des exploitations les exportent systématiquement (dont les exploitations d'élevage) et 24% tous les deux ou trois ans. Seulement 16% des exploitations de grandes cultures apportent au moins un amendement organique, alors que les exploitations avec élevage apportent systématiquement leurs effluents. Pour les exploitations Grandes Cultures ne disposant pas de matière organique sur l'exploitation, les quantités apportées et les surfaces épandues de produits organiques (achetés ou échangés sous la forme de paille/fumier) sont souvent réduites de par le coût engendré. D'autres apports organiques financièrement intéressants (coût nul – « rendu racine ») sont aussi réalisés comme les sous produits de sucrerie (vinasses) et les boues urbaines. Les vinasses utilisées dans onze exploitations enquêtées apportent peu de matière organique (utilisées plutôt comme fertilisant). Les boues, issues des stations d'épuration urbaine sont des déchets organiques (décret 97-113 du 8/12/1997 et arrêté du 8/01/1998) et sont peu utilisées en Limagnes suite à l'existence de filières de qualité (notamment la filière relative à l'alimentation infantile).

Mise en évidence des facteurs à risque

Caractéristiques des sols et des systèmes de culture

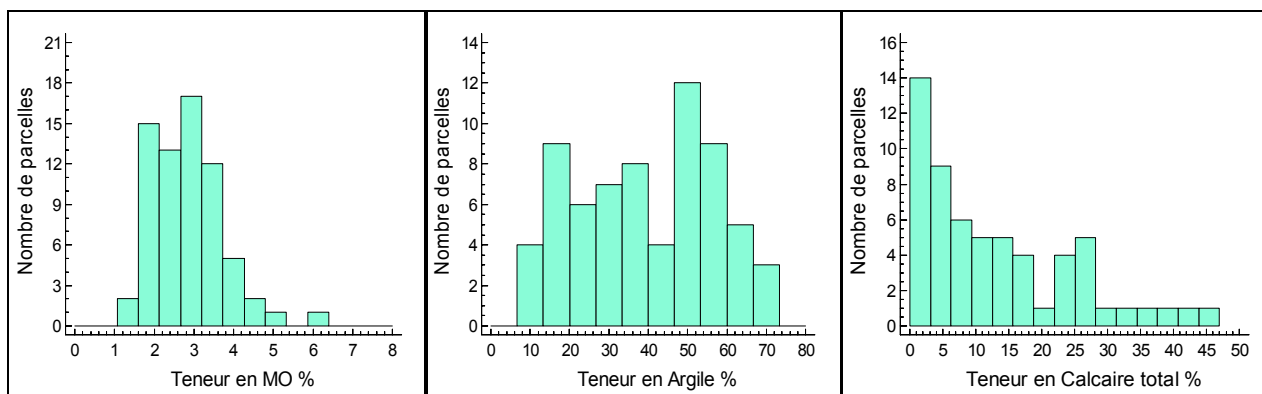
L'enquête conduite dans un deuxième temps à l'échelle des parcelles de chaque exploitation suivie a permis de caractériser le système de culture et de calculer le bilan humique. Les parcelles étudiées sont au nombre de 67.



Les principaux sols présents dans les Limagnes sont représentés dans les 67 parcelles (Figure 2) avec une dominance du type argilo-calcaire (60% de la surface totale des parcelles), puis des Terres Noires (11%), des alluvions (12%) et des autres types de sols (12%).

Les teneurs moyennes des sols sont de 2.9% en matière

organique, 40.5% en argile et 11.5% en calcaire total. Les figures 3 montrent la distribution des valeurs de ces trois caractéristiques physico-chimiques pour les 67 sols étudiés.



Figures 3 : Caractéristiques physico-chimiques des sols.

Le labour est très présent dans les rotations (en moyenne 25 cm de profondeur). Il est souvent associé à des techniques de travail du sol simplifiées et il intervient alors au moins une fois dans la rotation pour améliorer la structure suite au compactage des sols riches en argile. Le plus courant est le labour d'automne pour profiter de l'effet gel/dégel.

Comme observé à l'échelle des exploitations, le blé est l'espèce principale des rotations. Les rotations les plus courantes sont :

- Blé / Maïs grain
- Tournesol ou colza ou maïs semence / Blé / Blé
- Maïs semence ou betterave / Blé / Maïs semence ou betterave / Blé.

Les pailles sont exportées systématiquement et enfouies systématiquement (41% pour chaque cas). Sur les 18% de parcelles restant, les pailles sont alternativement enfouies et exportées.

Les amendements organiques sont rares : 87% des parcelles n'en ont jamais (les parcelles des exploitations avec élevage amendées régulièrement ont été étudiées séparément). Pour les 13% de parcelles amendées, il s'agit de fiente ou de fumier à apport peu régulier (5 parcelles), du compost de déchets verts (3) et de boues de stations d'épuration (1).

Caractéristiques des bilans humiques

Le bilan humique, selon Hénin et Dupuis (1945) est obtenu par la différence entre les pertes d'humus engendrées par la minéralisation et les gains issus des cultures et des amendements organiques à l'échelle du système de culture. Les résultats sont donnés en kg humus/ha/an.

La quantité d'humus minéralisé est calculée à partir de la teneur en matière organique, de la densité apparente et de la profondeur du travail du sol multipliée par le K2 (coefficient de minéralisation dépendant des teneurs en argile, en calcaire total et de la température moyenne).

Les gains proviennent des restitutions des cultures comportant les résidus obligatoires (racines+bas de tiges) et les résidus facultatifs (tiges et feuilles) et aussi des amendements organiques. Les apports en humus des résidus de culture comme des amendements organiques sont calculés à partir de leur teneur en matière organique multipliée par un coefficient K1 propre à chaque espèce ou produit.

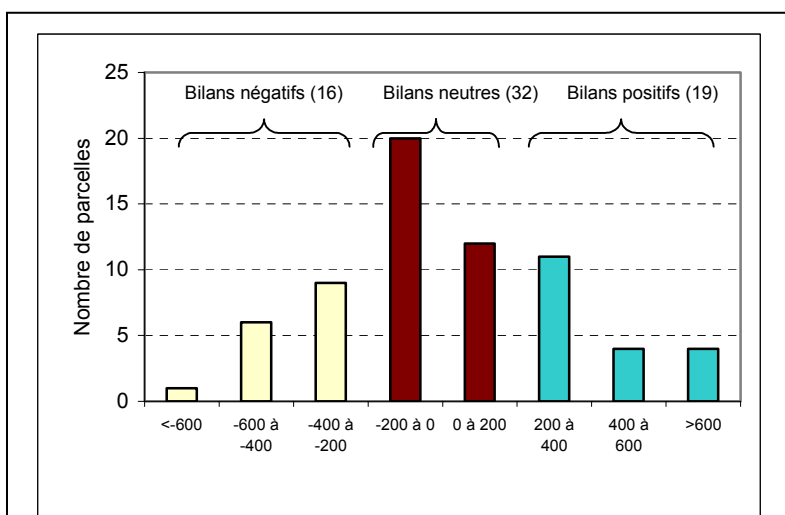
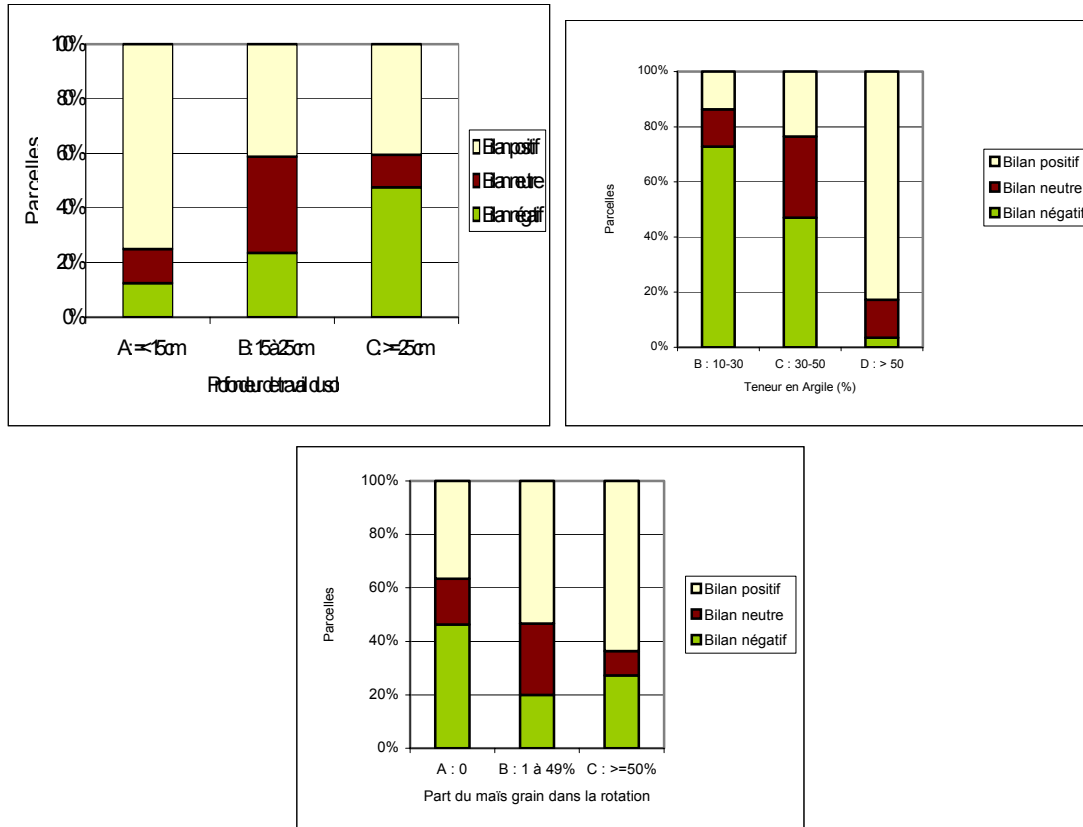


Figure 4 : Bilan humique calculé (kg humus/ha/an).

Pour l'interprétation des résultats, il est considéré qu'un bilan compris entre -200 et +200 kg humus/ha/an est équilibré ou neutre (Neyroud, Supcik et al. 1997).

Pour les 67 parcelles suivies (Figure 4), 24% ont un bilan négatif (< -200 kg humus/ha/an), 48 % un bilan neutre compris entre -200 et +200 kg humus/ha/an et 28% un bilan positif (> 200 kg humus/ha/an).

La mise en commun des résultats de l'étude de la typologie des systèmes de culture et du calcul des bilans humiques a permis de mettre en évidence trois facteurs majeurs reliant les deux approches que sont la profondeur du labour, la teneur en argile et la part du maïs grain dans la rotation (Figures 5). Les bilans humiques positifs sont d'autant plus nombreux que la profondeur du travail du sol est faible. De même, plus les teneurs en argile sont élevées, plus les bilans humiques positifs sont nombreux. Enfin, les bilans positifs sont plus nombreux quand la part du maïs dans la rotation augmente. Ces facteurs vont être à la base de la constitution de la grille.



Figures 5 : Relations entre les facteurs du système de culture et du sol et le bilan humique des 67 parcelles.

Hierarchisation des facteurs à risque

Les trois facteurs identifiés précédemment ne suffisent pas à expliquer complètement les résultats du bilan humique du fait de l'existence d'interactions sol/rotation. Afin de définir l'effet des facteurs et leur hiérarchisation, les pertes et les gains en humus en fonction des facteurs du système de culture ont été précisés pour les 67 parcelles.

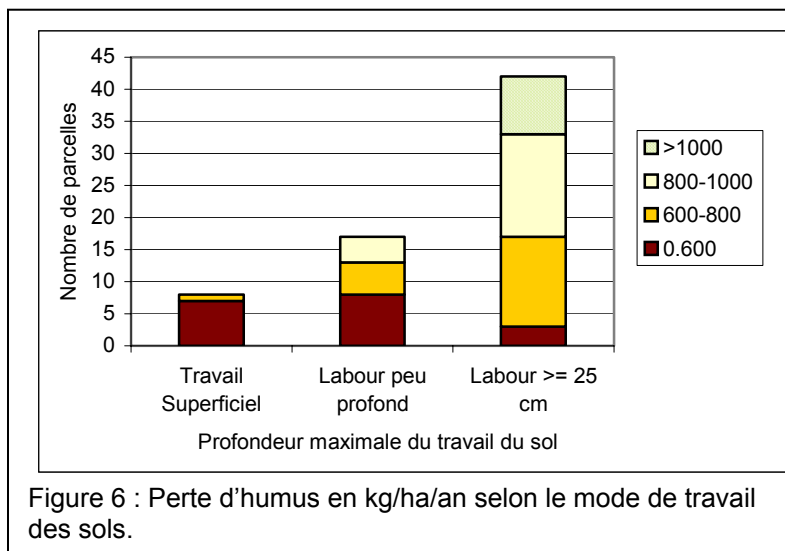


Figure 6 : Perte d'humus en kg/ha/an selon le mode de travail des sols.

Le travail du sol superficiel (Figure 6) limite les pertes d'humus. Par contre, pour les parcelles avec labour peu profond ou profond (≥ 25 cm), les pertes d'humus (kg/ha/an) sont variables.

Dans ce cas, il est nécessaire d'observer l'incidence des autres paramètres : les teneurs en argile et en calcaire total.

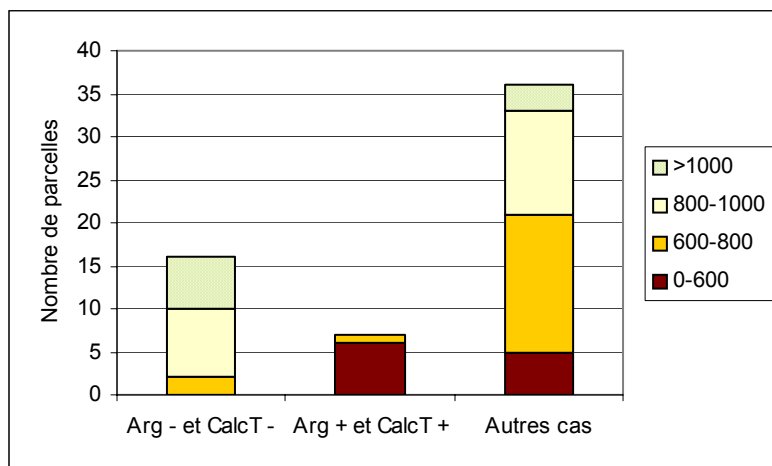


Figure 7 : Perte d'humus en kg/ha/an en fonction des taux d'argile et de calcaire des sols.

Arg : teneur en argile ; CalcT : teneur en calcaire total

Arg+ : $\geq 50\%$; Arg- : $< 30\%$; CalcT+ : $\geq 15\%$; CalcT- : $< 15\%$

En présence de sols très argileux et calcaires ($>50\%$ et $>15\%$), les pertes d'humus sont très fortement limitées du fait d'un faible taux de minéralisation. A l'inverse (Figure 7), pour des sols ayant peu d'argile et de calcaire total, les pertes sont élevées.

Dans les autres cas, une diversité de réponse est observée ; les valeurs moyennes de pertes en humus sont autour de 600 à 1000 kg/ha/an.

Au niveau des gains d'humus, il apparaît que selon les espèces végétales en place, les restitutions d'humus sont très variables (Remy et Marin-Laflèche 1974 ; Boiffin, Keli Zagbahi et al. 1986). Les espèces ont alors été classées selon trois groupes de végétaux différenciés par leurs niveaux de restitution organique. Les espèces qui restituent d'importants résidus ont été classées dans le groupe E1 et celles qui à l'inverse restituent peu, classées dans le groupe E3. Dans ce classement, le devenir des pailles (enfouies ou non dans le sol) est pris en compte. Selon les espèces retrouvées dans les Limagnes, les groupes sont les suivants :

- Espèces de type E1 : maïs grain, colza, céréales à paille (pailles enfouies)
- Espèces de type E3 : cultures ne laissant que racines et chaumes, céréales à paille (pailles exportées), maïs ensilage, luzerne fauchée, ray-grass.

Ensuite, selon ces groupes, il a été défini les pourcentages des types d'espèces dans la rotation.

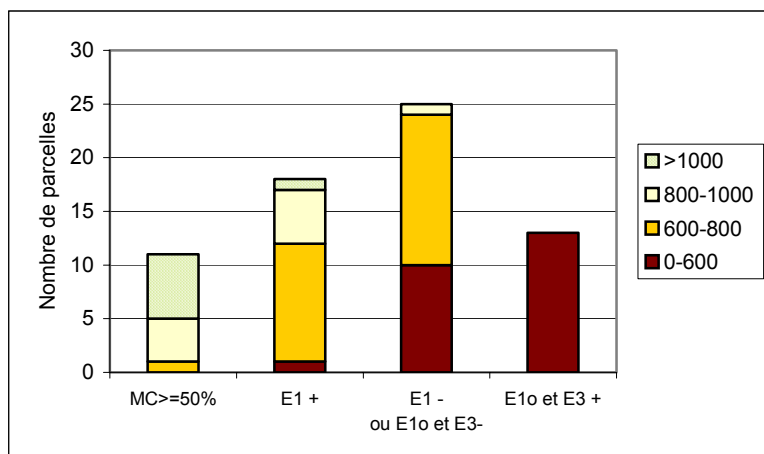


Figure 8 : Gain en humus en kg/ha/an en fonction des espèces dans la rotation.

MC : Maïs grain ;

E1+ : $E1 \geq 50\%$ d'espèces dans la rotation

E1- : $0 < E1 < 50\%$

E1o : $E1 = 0$

E3+ : $E3 \geq 50\%$

E3- : $E3 < 50\%$

Lorsque le maïs grain occupe plus de 50% de la rotation, les gains en humus sont importants quelles que soient les autres cultures de la rotation (Figure 8). Dans les autres cas, interviennent les groupes d'espèces E1 (espèces à fortes restitutions en humus) et E3 (à faibles restitutions), la situation parcellaire la plus défavorable aux gains de matière organique est une rotation occupée majoritairement par les espèces E3.

Lorsque le maïs occupe moins de la moitié de la rotation interviennent alors les types d'espèces E1 et E3 avec plusieurs cas de figures :

- les espèces E1 représentent plus de 50% de la rotation, le groupe E3 n'est pas pris en compte.
- la rotation comprend au moins une espèce E1 mais moins de 50% ($0 < E1 \leq 50\%$) ou elle ne comprend aucune espèce E1 et moins de 50% d'espèces E3
- lorsque les espèces E3 occupent la majorité de la rotation sans aucune espèce E1 (dominance d'espèces qui restituent peu de résidus et aucune compensation par des espèces restituant beaucoup).

Enfin, vis à vis des restitutions organiques potentielles de ces espèces, il est important d'intégrer les rendements obtenus. Plus les rendements sont élevés, plus la biomasse produite est importante et les restitutions organiques élevées. Par contre, lorsque les rendements sont moyens voire faibles, la corrélation rendement/restitution organique est moins évidente.

Il faut tenir compte aussi des amendements organiques qui s'ajoutent aux restitutions des cultures. La part d'humus restituée par ces amendements dépend de trois paramètres : le type d'amendement, la dose et la régularité de l'apport. Deux classes de restitution organique ont été créées : la classe TB (apport d'humus très élevé) et la classe B (apport d'humus élevé). Dans le cas où l'amendement organique apporte peu d'humus (vinasses, lisier apporté tous les 3 ans), il n'est pas pris en compte dans le bilan organique.

Type et dose d'apport	Régularité de l'apport					
	1 an	2 ans	3 ans	4 ans	5 ans	6 ans
Composts fumiers ou déchets verts $\geq 15T/ha$ Fumier Bovin $\geq 30T/ha$	TB					
Composts $< 15T/ha$ Fumier bovin $< 30T/ha$ Fumier porc ou volaille $\geq 20T/ha$	TB				B	
Fumier porc ou volaille $< 20T/ha$	TB		B			
Lisier bovin ou Vinasse	TB	B				
Lisier Porc	B					

Figure 9 : Classes de restitution organique selon les types d'apports organiques

Constitution de la grille

Les différents résultats des 67 parcelles étudiées vont ainsi être à la base de la construction de la grille d'évaluation du risque de diminution de la matière organique du sol. Pour l'ensemble des résultats, une notation a été élaborée selon les niveaux obtenus des pertes d'humus sous forme de lettre (A : faible perte en humus ; C : forte perte en humus) et des gains en humus sous forme de chiffre (1 : fort gain en humus ; 4 : faible gain en humus).

Ainsi pour les Pertes, trois notes peuvent être attribuées : A, B et C (A étant la meilleure note et C la pire). Quatre classes de Pertes ont été établies. L'élément dominant limitant les pertes quels que soient les autres facteurs, est le travail du sol superficiel (sans labour). Les parcelles dans ce cas se voient attribuées la note A. Pour les parcelles avec labour, la texture du sol est à prendre en considération. La spécificité des sols argileux ($>50\%$) et calcaires ($>15\%$) des Limagnes limite les pertes en humus ; dans ce cas, la note attribuée est A. Mais tous les sols de Limagnes n'ont pas cette particularité argileuse et calcaire, ainsi les sols ayant à la fois très peu d'argile et de calcaire ($<30\%$ et $<15\%$ respectivement), la note C, la plus pénalisante, est attribuée aux parcelles concernées. Dans les autres cas, la note attribuée est B.

Concernant les Gains, ils sont notés de 1 à 4, 1 étant la meilleure note. Comme pour les Pertes, quatre classes ont été élaborées. Plus les gains sont élevés, plus la situation est favorable (la note est égale à 1). Les gains ont deux origines : les cultures et les amendements organiques. Les cultures sont toujours présentes alors que les amendements sont facultatifs. Pour cette raison, les espèces de la rotation ont été étudiées séparément des amendements. Quatre cas de figures ont été annoncés précédemment selon l'importance du maïs grain, des espèces E1 et des espèces 3 dans la rotation. Ainsi, lorsque le maïs grain occupe plus de 50% de la rotation, les gains sont importants quelles que soient les autres cultures de la rotation, ce qui conduit à la meilleure note égale à 1. Lorsque le maïs occupe moins de la moitié de la rotation et si les espèces E1 représentent plus de 50% de la rotation, la note 2 est fournie. A l'opposé, lorsque les espèces E3 occupent la majorité de la rotation sans aucune espèce E1, la note 4 est attribuée à la parcelle. Des ajustements de note au niveau des Gains ont été rajoutés pour prendre en compte l'incidence du potentiel de rendement de la parcelle sur les gains en humus et l'apport d'amendements organiques. Ainsi, dans le cas de rendements faibles ou moyens, une pénalité est apportée à la note Gain en ajoutant 1 point. D'autre part, selon la classe de l'amendement définie dans la figure 9 (TB : apport d'humus très élevé ; B : apport d'humus élevé), un ajustement de la note Gain est effectué à -2 pour la classe TB et à -1 pour la classe B.

Au final, une note est attribuée au système de culture évalué. Cette note comprend une lettre et un chiffre. La note A1 est la meilleure et C4 la pire. Selon les corrélations observées entre les notes et les bilans calculés (Figure 10), trois groupes sont mis en avant :

- bilan positif (> +200 kg humus/ha/an) = système améliorant
- bilan neutre (entre -200 et +200 kg humus/ha/an) = système neutre
- bilan négatif (<-200kg /ha/an) = système à risque vis-à-vis de l'évolution de la matière organique des sols.

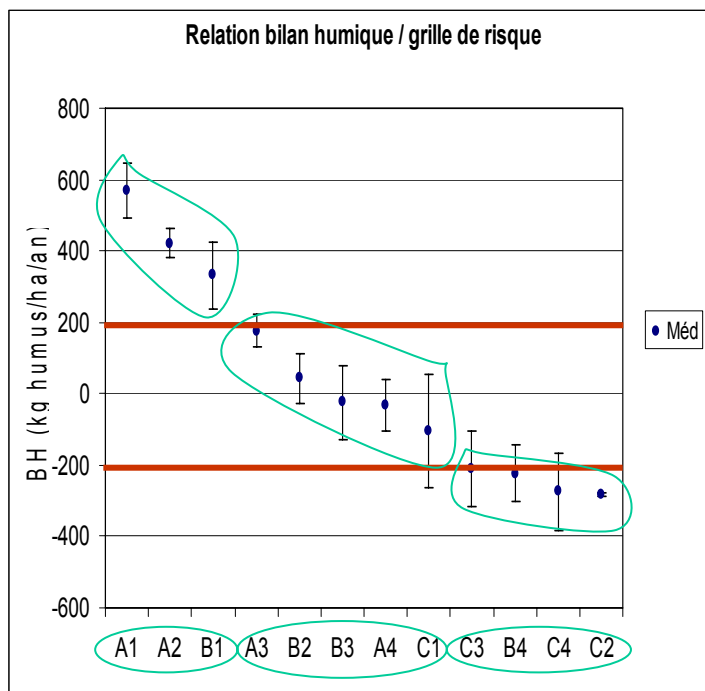


Figure 10 : Relation bilan humique et notation de la grille

Selon la note établie, le système de culture est ainsi caractérisé. Ainsi, pour les notes de grille A1, A2 et B1, le système de culture est favorable au maintien voire à l'augmentation de la matière organique des sols. D'ailleurs, si des apports organiques sont réalisés régulièrement, il est conseillé de raisonner ces apports pour ne pas « gaspiller la matière organique ». Pour les notes A3, B2, B3, B4, A4 et C1, il est conseillé de réaliser des analyses de sol pour préciser les caractéristiques physico-chimiques du système de manière à l'améliorer si nécessaire. Pour la note B4, C2, C3 et C4, il y a nécessité d'améliorer le système en modifiant les pratiques voire en apportant des amendements organiques.

Perspectives : identification de l'évolution de la situation organique des sols de Limagnes

Sur les 67 parcelles étudiées, 24% des systèmes sont à risque et 48% sont neutres. Les systèmes à risque s'expliquent à la fois par le sol et les pratiques agricoles. Les sols sont peu ou pas calcaire et comportent 10 à 30% d'argile. Le système de culture n'a pas de maïs grain dans la rotation.

Généralement, l'amélioration du système pourra se faire :

- en réduisant la profondeur du travail du sol
- en enfouissant les pailles
- en modifiant la nature des espèces de la rotation ou en la diversifiant avec des espèces plus restitutrices de matière organique
- et/ou en apportant des amendements organiques.

D'autre part, à travers les systèmes étudiés, il apparaît que ceux qui apportent des amendements organiques ne sont pas systématiquement ceux qui ont un système à risque en terme de sol et de pratiques agricoles.

Un recensement des caractéristiques des systèmes de culture est en cours auprès de l'ensemble des agriculteurs des Limagnes. Pour ce faire, des fiches système ont été envoyées par courrier renseignant sur le système de culture et le sol et permettant de calculer à la fois le bilan humique et la note de grille. Cette démarche a pour but d'évaluer l'évolution de la situation organique de l'ensemble des sols agricoles de Limagnes par la connaissance du système de culture en plus de celle du sol. Elle cherche aussi à sensibiliser l'ensemble des agriculteurs à la problématique organique par le raisonnement agronomique au même titre que celui des fumures et de la protection phytosanitaire.

Cette démarche doit contribuer à organiser la valorisation agricole des déchets et produits organiques en terme agronomique et non pas uniquement économique. De plus, en identifiant les besoins, elle devrait contribuer à moyen terme à une gestion territoriale harmonisée des produits organiques proposés par la collectivité.

Bibliographie :

Archambeaud, M. (2006). "Structure et matières organiques - Fertilité des sols." Techniques culturales simplifiées **39**: 26-27.

Balesdent, J. (1996). "Un point sur l'évolution des réserves organiques des sols en France." Etude et Gestion des Sols **3**(4): 245-260.

Boiffin, J., J. Keli Zagbahi, et al. (1986). "Systèmes de culture et statut organique des sols dans le Noyonnais : application du modèle de Hénin-Dupuis." Agronomie **6**(5): 437 - 446.

Bornand, M., J. Dejou, et al. (1984). "Composition minéralogique de la phase argileuse des Terres noires de Limagne (Puy de Dôme). Le problème des liaisons argiles-matière organique." Agronomie **4**(1): 47 - 62.

Hénin, S. and M. Dupuis (1945). "Essai de bilan de la matière organique du sol." Ann. Agron. **11**: 17-29.

Neyroud, J.-A., P. Supcik, et al. (1997). "La part du sol dans la production intégrée 1. Gestion de la matière organique et bilan humique." Revue Suisse Agricole **29**(1): 45-51.

Oorts, K. (2006). Effect of tillage systems on soil organic matter stocks and C and N fluxes in cereal cropping systems on a silt loam soil in Northern France. Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon: 178p.

Quenum, M., M. Giroux, et al. (2004). "Etude sur le bilan humique des sols dans les systèmes culturaux sous prairies et sous cultures commerciales selon les modes de fertilisation." Agrosol **15**(2).

Remy, J. and A. Marin-Lafèche (1974). "L'analyse de terre : réalisation d'un programme d'interprétation automatique." Ann. Agron. **25**(4): 607-632.

Vullioud, P., J.-A. Neyroud, et al. (2006). "Résultats de 35 ans de culture sans labour à Changins II. Evolution des propriétés du sol." Revue Suisse Agricole **38**(1): 3-16.