



FABQ
FÉDÉRATION D'AGRICULTURE
BIOLOGIQUE DU QUÉBEC

La fertilisation organique des cultures



Les bases

La Fédération d'agriculture biologique du Québec (FABQ) est fière de vous présenter cette brochure sur la fertilisation organique des cultures. La FABQ remercie les partenaires financiers suivants : le Programme de soutien au développement de l'agriculture biologique du Ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec et le Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec financé par Agriculture et Agroalimentaire Canada.

Avec la réalisation de cette brochure, la FABQ souhaite outiller les producteurs en vulgarisant les connaissances techniques disponibles pour permettre une meilleure gestion des matières organiques sur les fermes dans le but d'améliorer leur efficacité en départ de végétation, d'améliorer les rendements et de favoriser une diminution de la pollution liée à une fertilisation excessive des cultures.

Cette brochure se veut un incontournable pour tous les producteurs agricoles, les conseillers agricoles et les étudiants en agriculture qui souhaitent apprendre et approfondir leur connaissance sur la fertilisation organique des cultures.

Bonne lecture

Le conseil d'administration
de la Fédération d'agriculture biologique du Québec

CRÉDIT

Coordination : Geneviève Blain, agr. secrétaire générale FABQ

Réalisation : Jacques Petit et Pierre Jobin

Révision des textes : Louis Forest et Isabelle Breune

Photographies : Centre de développement d'agrobiologie / Laboratoire Terra Cognita

Photographie page couverture : André D. Beaudoin

Graphisme et mise en page : Versicolore design graphique

Impression : Imprimerie Provinciale inc.

Distribution : Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ)

POUR INFORMATION OU COMMENTAIRES :

Fédération d'agriculture biologique du Québec

555, boulevard Roland-Therrien, bureau 100

Longueuil, Québec, J4H 3Y9

Téléphone : (450) 679-0530

Télécopieur : (450) 670-4867

Courriel : fabq@upa.qc.ca

Site Internet : www.fabqbio.ca

Fédération d'agriculture biologique du Québec

ISBN 2-9809006-0-5

Dépôt légal Bibliothèque nationale du Canada, 2005

Dépôt légal Bibliothèque nationale du Canada, 2005

La fertilisation organique des cultures

Les bases

Jacques Petit et Pierre Jobin

Octobre 2005



TABLE DES MATIÈRES

AVANT PROPOS	3
1 INTRODUCTION	4
2 LA FERME : UN ÉCOSYSTÈME	5
2.1 Le cycle des éléments nutritifs sur la ferme et la fertilisation des cultures	5
2.2 Vue d'ensemble de la pratique de la fertilisation en agrobiologie	6
3 LA PLANTE	7
3.1 Activité biologique et nutrition des plantes	7
3.2 Les exigences des cultures	7
3.3 Où trouver les nutriments ?	7
4 LE SOL	17
4.1 La « relation sol-plante »	17
4.2 Le lien entre structure des sols et fertilisation	18
4.3 Activité biologique et structure du sol	20
4.4 Activité biologique et matière organique	21
5 GESTION DU SOL : LES PRATIQUES STIMULANTES DE LA FERTILITÉ	22
5.1 Le drainage	22
5.2 Le chaulage en fonction du sol	22
5.3 Le travail du sol	24
6 LA GESTION DES ENGRAIS ORGANIQUES	25
6.1 Valeurs des fumiers, fientes, lisiers et purins.	25
6.2 Composts et compostage	27
7 LA ROTATION DES CULTURES : AU CŒUR DE LA STRATÉGIE DE FERTILISATION	32
7.1 Les systèmes de cultures avec prairie	33
7.2 Les systèmes de cultures sans prairie	34
8 LES APPORTS MINÉRAUX	35
9 L'AZOTE ORGANIQUE POUR LE DÉMARRAGE DES CULTURES	36
10 PLANIFIER LA FERTILISATION DE MANIÈRE À OPTIMISER LA GESTION DES NUTRIMENTS	38
10.1 Fertiliser en fonction de calculs précis	38
10.2 L'art de la fertilisation : expérimenter, observer et corriger !	39
11 ÉVALUATION ET SUIVI DES PRATIQUES DE FERTILISATION	39
11.1 Le bilan nutritif de la ferme	40
11.2 Évaluation des sols	43
11.3 Le suivi des cultures	48

AVANT-PROPOS

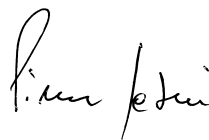
L'agriculture biologique se développe depuis plus de 30 ans au Québec. Guidée au départ par des principes relativement théoriques et venus des expériences américaines et européennes de l'agriculture biologique, les pratiques de fertilisation des cultures ont évolué en fonction des réalités du terrain et des résultats obtenus à travers les années par les producteurs d'ici. Grâce aux travaux et expérimentations menés pendant ces 30 ans par les producteurs et productrices, le plus souvent avec très peu de moyens, un certain nombre d'ajustements ont été effectués afin d'améliorer les pratiques de fertilisation en régie biologique. Graduellement des références nouvelles ont été développées. À des principes de base globalement toujours valables, s'ajoute aujourd'hui une meilleure compréhension du fonctionnement d'un système agrobiologique dans les conditions particulières des sols et des climats du Québec. Cela peut et doit permettre après cette période de développement de baliser mieux l'application des principes dans la pratique. Par exemple, les contraintes climatiques poussent ici l'agriculture à ses limites extrêmes et oblige à adapter des pratiques qui peuvent diverger de l'approche agrobiologique généralement pratiquée ailleurs. C'est dans cet esprit que s'inscrit cet ouvrage sur la fertilisation en agriculture biologique. Non pas qu'il ne faut pas redire les principes de base, mais surtout qu'il faut ramener ces principes à la pratique, à partir de ce qui a été observé et compris depuis ces 30 dernières années au Québec.

Cette brochure s'adresse tant aux producteurs déjà en agrobiologie, qu'à ceux qui sont en transition : les grands principes qui la sous-tendent sont valables pour toutes les productions. Mais comme cet ouvrage n'a pas la prétention d'épuiser le sujet, les exemples utilisés pour illustrer nos propos vont cibler plus spécifiquement les fermes en polyculture-élevage, élevage et grande culture.

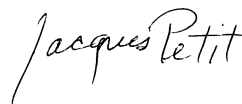
Toutes les pratiques de fertilisation discutées ici entrent dans le cadre des certifications agrobiologiques actuelles. Mais comme les normes de certification évoluent, il est préférable de consulter les cahiers des charges, voire de contacter son organisme de certification s'il subsiste le moindre doute sur la validité de certaines pratiques.

D'autre part, nous n'avons pas traité de l'utilisation de tous les fertilisants qui sont disponibles en agrobiologie (Duval, 2003). Nous nous sommes limités à ceux qui sont économiquement utilisables en élevage et en grande culture. Certains produits, les suppléments azotés organiques par exemple, sont très efficaces et leur utilisation peut se justifier en serriculture ou en horticulture. Mais actuellement leur coût est nettement trop élevé pour une utilisation même partielle en production extensive.

Enfin nous avons délibérément choisi de ne pas aller dans le détail de calculs de fertilisation qui, tout en ayant l'air précis, ne pourraient être qu'approximatifs. Les méthodes et outils de calcul sont abondamment présents et utilisés au sein des ministères et des Clubs agroenvironnementaux. Selon nous, chaque ferme étant un cas spécifique, chaque ferme doit être traitée comme telle. Et ce dernier bout, qui inclut calculs, essais et observations à la ferme, ne peut être fait que par l'agriculteur lui-même, assisté au besoin d'appui conseil.



Pierre Jobin



Jacques Petit



1 INTRODUCTION

Comme pour toute forme d'agriculture, l'objectif premier de la fertilisation des cultures en bio est de permettre la réussite de la culture. En agrobiologie, la définition de ce qu'est la réussite peut toutefois différer de façon importante des standards conventionnels. Par exemple, comme en agriculture conventionnelle, le rendement des cultures est un des éléments importants de la réussite. Mais particulièrement en agrobiologie on ne peut pas l'obtenir à n'importe quel prix. Entre autres, on ne peut l'obtenir au détriment de la « qualité biologique » de la production. Cette recherche de qualité ne justifie toutefois pas de se contenter de rendements ordinaires.

L'agriculture biologique a toujours promu l'idée que ses pratiques de fertilisation devaient chercher à protéger les ressources environnementales de la ferme et du milieu et assurer la pérennité du système de production. Enfin, l'ensemble de ces objectifs doit être atteint avec une obligation de rentabilité économique, ce qui n'est pas nécessairement contradictoire en régie biologique, bien au contraire.



Au Québec, l'agriculture biologique a dépassé le stade de la production artisanale. Elle cherche aujourd'hui à rallier productivité, protection des ressources et du milieu et rentabilité des activités agricoles sur la ferme.

2 LA FERME : UN ÉCOSYSTÈME

La ferme est un « écosystème ». C'est un milieu vivant, complexe, composé d'une multitude de cycles de matières organiques et minérales. Ces matières sont constamment en mouvement et transformées, passant du sol, aux plantes, aux animaux, alimentées par l'énergie solaire et utilisant au passage l'eau, pour enfin retourner au sol. La santé et la productivité de la ferme dépendent de la capacité de cet « écosystème » à maintenir en circulation ces flux, organique et minéral, avec le moins de perte possible.

Cette approche « systémique » est à la base du concept de l'agrobiologie, qui vise à concevoir et gérer un système agricole le plus diversifié possible. Une telle approche cherche à assurer une réduction de la dépendance du système agricole face aux intrants, fussent-ils agrobiologiques, tout en conservant une fertilité et une productivité optimale et durable.

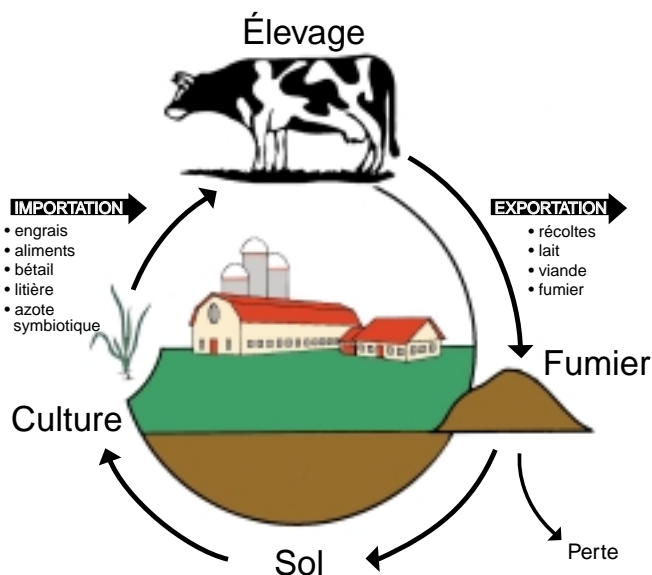
En milieu naturel, ces transformations et ces cycles sont mus par des conditions naturelles propres aux différents écosystèmes. En milieu agricole, l'agriculteur doit savoir identifier et reconnaître ces cycles de manière à y adapter ses pratiques. Bien qu'il soit *a priori* théorique, ce concept s'inscrit donc de manière très pratique dans la gestion quotidienne de la ferme.

2.1 LE CYCLE DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS SUR LA FERME ET LA FERTILISATION DES CULTURES

Sur la ferme, on retrouve sous diverses formes l'azote, le phosphore, le calcium, le potassium et plusieurs autres éléments appelés « éléments nutritifs ». Prélevées du sol par les plantes, ces substances sont en partie transférées aux animaux sous forme d'aliments et/ou retournées au sol par les résidus des cultures. Une bonne partie (65 à 95%) des éléments consommés sur la ferme par l'élevage retourne elle aussi au sol par l'entremise des fumiers. On désigne par cycle nutritif cette circulation des éléments sur la ferme (Figure 1). Mais une ferme fonctionne rarement en circuit fermé. Une fraction plus ou moins importante de nutriments est exportée de la ferme par la vente de produits, végétal ou animal ce qui tend à appauvrir « l'écosystème ferme ». Une autre est importée par l'achat d'intrants divers, engrais, moulées, litière, etc ce qui tend à enrichir « l'écosystème ferme ».

Puis, la ferme fait elle-même partie d'un plus grand écosystème. L'impact positif ou négatif des pratiques agricoles utilisées sur la ferme se répercute nécessairement au-delà de ses frontières sur le milieu environnant, le bassin versant dont elle fait partie par exemple.

Figure 1 - Présentation simplifiée du cycle des éléments nutritifs sur la ferme.



Adapté de Jobin, 1993

En agriculture biologique, les pratiques agricoles adoptées doivent maximiser le recyclage des éléments nutritifs. D'une part, cela permet de les conserver sur la ferme et de les réutiliser dans la pratique de la fertilisation des cultures. D'autre part, cela diminue les pertes à l'environnement et par le fait même la nécessité de racheter les éléments perdus.

Fertiliser les cultures implique nécessairement une manutention d'engrais organiques et minéraux aux champs. Le défi de la fertilisation des cultures est de faire en sorte que les interventions du producteur soient planifiées de manière à ce que la parcelle de terre cultivée fournisse au cours de la saison les nutriments nécessaires à la croissance optimale de la culture et à l'obtention d'un bon rendement. Mais comment s'en assurer ?

2.2 VUE D'ENSEMBLE DE LA PRATIQUE DE LA FERTILISATION EN AGROBIOLOGIE

Dans la pratique, la fertilisation doit répondre aux besoins des plantes cultivées. Pour y arriver, une stratégie de fertilisation des cultures se construit par l'agencement d'un ensemble de pratiques de gestion du sol et d'organisation des cultures, auquel s'ajoute la planification des apports. La fertilisation des cultures s'élabore ainsi en fonction :

- des besoins des différentes plantes cultivées;
- de l'estimation de ce qui peut être rendu disponible par la fertilité accumulée au sein du cycle nutritif de la ferme (réserve organique et minérale du sol, résidus de culture, etc.);
- d'un mode de gestion des apports de fertilisants: type d'engrais, dose, contenu et disponibilité des nutriments, « timing » d'utilisation, etc.;
- d'observations régulières des cultures de manière à vérifier la réponse des plantes aux pratiques adoptées.

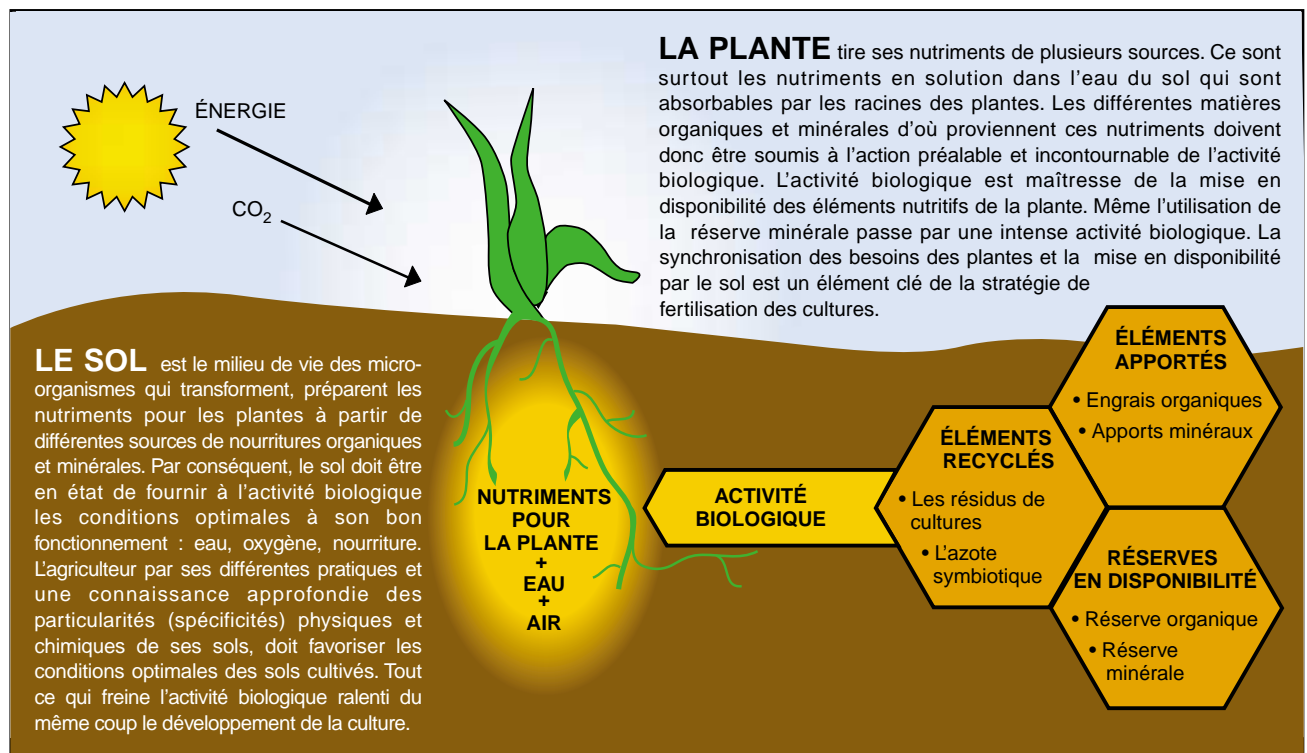
La circulation sur la ferme des éléments nutritifs conditionne la productivité du système de production. Qu'ils soient d'origine organique ou minérale,

recyclés par les résidus de culture ou les engrais organiques, mis en disponibilité à partir des réserves du sol ou apportés de l'extérieur de la ferme, ces différentes sources constituent la réserve utile de fertilisants pour construire un plan de fertilisation des cultures bio (Figure 2).

Le producteur doit dans la pratique être en mesure d'utiliser au mieux ces réserves afin de garantir la réussite de ses cultures. L'activité microbienne du sol est centrale. Elle conditionne la mise en disponibilité des nutriments pour les conduire à la plante. L'intensité de l'activité biologique est elle-même dépendante des conditions du sol (oxygène, nourriture, etc.), du climat (température, précipitation, etc.) et des pratiques culturales (drainage, chaulage, fertilisation, etc.).

Si quelque part les nutriments arrêtent de circuler correctement, qu'ils soient perdus (lessivage, volatilisation, dénitrification) ou immobilisés (accumulation organique, insolubilisation) la plante sera en « manque ». On devra alors surfertiliser, c'est à dire amener plus de nutriments que la plante en aurait normalement besoin, pour garantir le rendement. Cet ajout aura pour effet d'augmenter les coûts de la production et les risques de surcharge de l'environnement.

Figure 2 - La fertilisation des cultures en agrobiologie





Bien planifiée, la fertilisation des cultures en agrobiologie répond aux besoins des cultures et permet l'obtention de bons rendements.

3 LA PLANTE

Parce que c'est elle que l'on récolte, la plante est centrale dans toutes les agricultures. Toutes réflexions et recherches de connaissances sur la fertilisation des cultures lui sont destinées. Elle est l'aboutissement et la réponse à toutes les stratégies et les efforts d'amélioration des pratiques agricoles.

3.1 ACTIVITÉ BIOLOGIQUE ET NUTRITION DES PLANTES

La plante se nourrit dans la solution du sol. Dissous dans l'eau, les nutriments sont transportés dans la plante. Outre les éléments non-constitutifs, les monovalents, K^+ , Na^+ , Li^+ , Cl^- , qui peuvent être absorbés par la plante directement sous forme atomique, les autres éléments essentiels entrent dans la plante sous forme oxydée ou chélatée. Ces transformations sont effectuées par les microbes (bactéries, champignons, macro-faune, etc.) du sol qui mettent sous une forme assimilable les éléments contenus dans les réserves minérale ou organique du sol, ou apportés par les engrais. Ainsi, pratiquement tous les éléments nutritifs vont entrer dans la plante par «voie microbienne». Sans simplifier à l'excès, on peut assez bien convenir que la mise en disponibilité des nutriments essentiels à la plante est dirigée par l'activité microbienne du sol, d'où son importance capitale dans l'approche de la fertilisation en agrobiologie.

3.2 LES EXIGENCES DES CULTURES

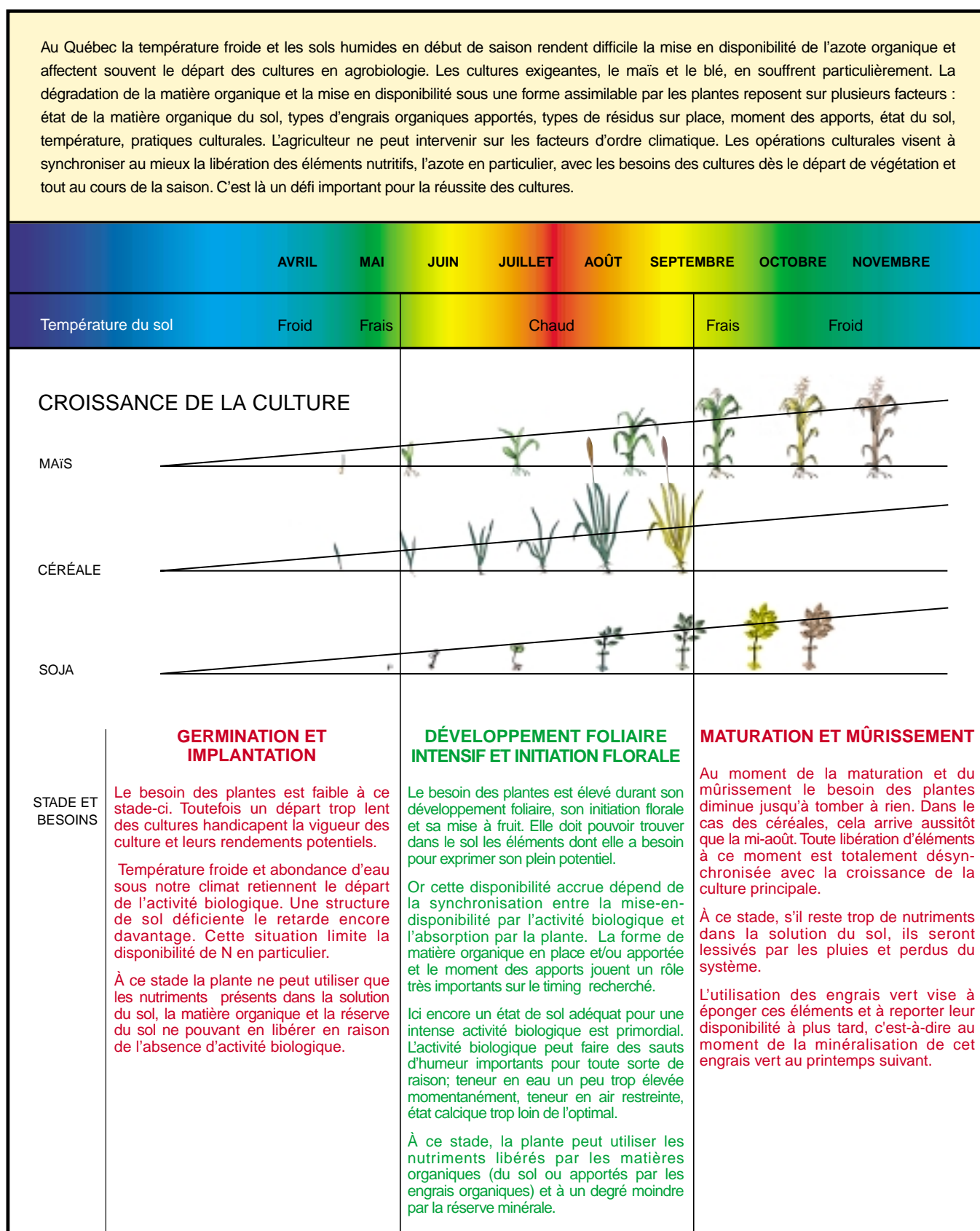
La pratique de la fertilisation des cultures a pour objectif de répondre aux besoins de la plante en nutriments essentiels pour sa croissance. Ces besoins nutritifs sont variables d'une espèce à l'autre. Ils sont relativement bien documentés et connus des producteurs. La prise en compte des besoins des différentes cultures sur la ferme guide l'élaboration du plan de fertilisation.

Par ailleurs, s'il faut globalement répondre à des besoins de la culture, on doit aussi y répondre en fonction du moment de la saison où sont rencontrés ces besoins. Il y a donc dans la pratique de la fertilisation des cultures une notion de «timing» (Figure 3). Aussi est-il important de différencier les exigences d'une plante en terme de besoins globaux pour une saison de culture et des besoins en départ de végétation par exemple. Particulièrement en agrobiologie, plus que la quantité, la disponibilité au moment approprié est souvent l'enjeu principal qui fait la différence entre un succès et un échec de la culture. La section 9 abordera plus en détails cette question de synchronisation entre les besoins en azote des cultures en départ de végétation et sa mise en disponibilité à partir de l'azote organique.

3.3 OÙ TROUVER LES NUTRIMENTS?

On connaît l'importance des éléments majeurs, azote (N), phosphore (P) et potassium (K), sur le développement des plantes. Bien qu'en quantité moindre, les éléments secondaires (calcium, magnésium, soufre) et les oligo-éléments jouent un rôle tout aussi important, tant pour la croissance des cultures et l'obtention de rendements, que pour l'obtention d'une qualité de produits. Mais où trouver ces nutriments en agrobiologie?

Figure 3 - Synchronisation des besoins des cultures en nutriments et de leur mise en disponibilité.



3.3.1 D'OÙ VIENT L'AZOTE (N) EN AGROBIOLOGIE?

N recyclé

Produit sur la ferme, le fumier recycle une partie de l'azote de l'alimentation du troupeau prélevée sur les récoltes. En ce sens il n'apporte rien de nouveau. Si aucun azote « neuf » n'est introduit quelque part dans le cycle de production, par achat de supplément alimentaire ou de fourrage par exemple, même si les pratiques de recyclage du fumier sont excellentes, des pertes inévitables (volatilisation, dénitrification, lessivage) mèneront à moyen terme obligatoirement à un déficit en N.

Ce déficit se traduira rapidement par une baisse de rendement plus ou moins prononcée selon son importance. Cette situation est une des premières causes des diminutions de rendement lors de la transition en agrobiologie. Elle doit absolument être corrigée par un apport nouveau d'azote. Elle ne se corrigera pas d'elle même par une « amélioration de l'activité biologique » qui pourrait être en théorie une conséquence de la transition en agrobiologie. En réalité, ce manque d'azote contrariera toute amélioration. En plus de la baisse de rendement, ce déficit se traduit par une baisse de qualité de la production.

N nouveau

L'achat de matières organiques (suppléments protéiques, foin, fumier et lisier, etc.) peut apporter des quantités plus ou moins importantes de N. Provenant de l'extérieur de la ferme, c'est un gain d'azote net. Pourtant dans la plupart des cas, à moins d'avoir une rotation peu exigeante en azote, cet apport seul ne peut pas fournir tout l'azote neuf nécessaire pour combler les besoins des cultures. La difficulté réside dans le fait qu'en plus de l'azote, ces matières organiques apportent toujours aussi du phosphore, de la potasse et beaucoup d'autres nutriments, ce qui en soit est excellent. Mais dans la plupart des cas, ces minéraux ne sont pas exportés dans les mêmes proportions qu'ils sont importés. Si on comble la totalité des besoins en N, les apports en P et K dépassent largement les exportations par la culture. Dans cette dynamique, plus les apports organiques sont importants, plus il risque d'y avoir accumulation des autres minéraux (surtout P et K) dans le sol, créant ainsi un déséquilibre dans la fertilisation. Et si cette accumulation devient trop importante, on augmente aussi les risques de pollution. À cause de la grande disponibilité de matières organiques qu'on connaît actuellement sur le territoire, cette surfertilisation est très fréquente. Les nouvelles contraintes environnementales qui limitent les apports de P par les engrais organiques entraînent souvent l'obligation de chercher d'autres sources pour combler les besoins des cultures. (Voir *Saviez-vous que ?*, page 9).

? Saviez-vous que ?

L'azote : un manque à gagner !

Prenons l'exemple d'une culture de blé fertilisée à partir d'un lisier de porc. La différence entre les besoins de la culture et les nutriments apportés s'estiment ainsi :

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Exportation par la récolte (kg/t)	26.1	10.2	5.7
Rendement espéré		4 t/ha	
Besoin de fertilisation (kg/ha)	104	41	22

Pour combler les besoins en P et K, on apporte 14 m³/ha (3000 gal/ha) de lisier de porc, d'une teneur moyenne de 4,5 kg de N, 3 kg de P₂O₅ et 3 kg de K₂O par tonne,

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Apports en nutriments par le lisier (en kg/ha)	63	42	42
Balance (kg/ha)	- 41	+ 1	+ 20

Ce calcul, quoique sommaire, fait clairement ressortir comment, en utilisant la plupart des fumiers disponibles sur les fermes, les besoins en phosphore et en potasse sont largement comblés par rapport au besoin en azote. Si en agriculture dite conventionnelle ce manque à gagner est comblé par l'utilisation des différents engrais azoté de synthèse, en agrobiologie ce manque à gagner ne peut être comblé que par l'intégration intensive de légumineuses dans le système de production. Seules les légumineuses peuvent apporter de l'azote nouveau sans apporter de phosphore et de potasse supplémentaire. Sur la ferme laitière, la culture abondante de prairies de luzerne et/ou de trèfle remplit bien ce rôle. Sur la ferme de grandes cultures et maraîchère seule l'intégration dans la rotation de culture d'engrais vert de légumineuses peut combler ce besoin en azote.

La fixation de (N) par les légumineuses

Pour éviter une telle situation de déséquilibre, on doit avoir recours à une source d'azote qui n'augmente pas la concentration des autres nutriments lorsqu'on l'utilise. Tant en élevage qu'en grande culture biologique, la seule source d'azote non associée à d'autres nutriments qui soit économiquement utilisable est la fixation par la symbiose racinaire des légumineuses.



Pour qu'il y ait un gain appréciable pour le système de production, il faut qu'il y ait suffisamment de légumineuses dans la rotation. De plus l'azote de la fixation ne doit pas être exporté. C'est ce que font les légumineuses de prairie dont le foin est consommé sur la ferme et/ou les engrais verts de légumineuses.

Dans la prairie, il faut cependant que les légumineuses soit assez abondantes (au moins 30 % à 50 %), et cela jusqu'à la toute fin de la rotation, de manière à ce que la fixation d'azote soit suffisante. Si elles disparaissent un an ou deux (comme on le voit trop souvent) avant son renouvellement, leur effet sera mitigé, voire à peu près nul pour les cultures qui vont suivre : les graminées restantes auront pompé tout l'azote résiduel des années précédentes.

Les légumineuses de grandes cultures, comme le soya ou d'autres fèves, lorsqu'elles sont exportées hors du système de production, n'apportent à peu près pas d'azote nouveau. Par leur vente on exporte pratiquement tout l'azote fixé pendant leur croissance.

Utilisées comme engrais vert, toutes les légumineuses permettent un gain d'azote (Tableau 1). Toutefois il faudra que leur durée de croissance soit assez longue si on veut que le gain soit appréciable.

Tableau 1 - Estimation de la fixation symbiotique selon diverses espèces de légumineuse

Espèces	Fixation de (kg/hectare)
Luzerne	175
Trèfle rouge	125
80 % légumineuse+20 % graminée	140
50 % légumineuse+50 % graminée	100
30 % légumineuse+70 % graminée	70
Soja	70
Haricot	50
Pois	60
Lupin	140
Vesce	100

Les fertilisants azotés

Il existe des fertilisants organiques azotés spécifiques (la farine de sang séché, la farine de viande, tourteaux et autres). En les utilisant on ne risque donc pas la surfertilisation en P et K, mais leur coût prohibitif ne permet pas leur usage en grande culture et en élevage. Leur usage n'est justifiable que pour certaines productions à haute valeur ajoutée, en serriculture, ou pour certaines productions maraîchères par exemple. Mais même dans ce dernier cas l'usage de légumineuses en engrais vert est souvent plus profitable que n'importe quel engrais du commerce. Entre autres parce que, en plus de fixer de l'azote, ils aident à maintenir une bonne structure dans les sols fragiles.

N réserve du sol

Il n'y a pas, à proprement parler, de réserve d'azote minéral dans le sol. Il n'y a qu'une réserve organique où N est associé au carbone, intégré à la matière organique. Lorsque la réserve organique du sol est abondante, la réserve d'azote du sol l'est aussi, de l'ordre de plusieurs centaines de kg/ha. Mais bien qu'importante, cette réserve est peu disponible, peu utilisable tant pour l'activité biologique du sol, que pour la croissance des plantes. Plus la matière organique est stable, difficile à décomposer, moins l'azote est disponible. Pour des raisons climatiques, pédologiques et historiques, nos sols ont souvent tendance à accumuler la matière organique, ce qui laisse de grandes quantités d'azote en réserve, mais très peu pour les cultures. Pour cette raison, dans nos conditions de culture on aura tendance à ne pas trop

privilégier la production de formes organiques stables, mais à apporter une certaine partie de l'azote sous des formes solubles ou assez faciles à solubiliser. Ce sont surtout ces apports (purins, lisiers, fumiers, composts, résidus de cultures, etc.) qui nourrissent les plantes. (Voir section 4.4 et 6.1) Seule une petite partie de la réserve d'azote du sol peut devenir soluble lorsque le sol est bien réchauffé. Et encore faut-il que l'activité biologique du sol soit intense.

3.3.2 D'OÙ VIENT LE PHOSPHORE (P) EN AGROBIOLOGIE?

P recyclé

Le phosphore est recyclé sur la ferme par les fumiers et les résidus de cultures. Parce qu'il se retrouve surtout dans la partie solide des fumiers, très peu dans la partie liquide, et qu'il est peu mobile, c'est le nutriment le plus facile à recycler et à conserver sur la ferme.

P nouveau

La seule façon d'introduire du nouveau phosphore dans le système de production est de l'importer de l'extérieur :

- soit en achetant des matières organiques comme des fumiers, des pailles, d'autres types de litières, des suppléments alimentaires, etc.;
- soit en l'achetant sous forme minérale, surtout des roches phosphatées broyées, qu'on appelle aussi phosphate naturel.

Il existe aussi d'autres suppléments phosphatés acceptables par les cahiers de charge des certifications biologiques (poudre d'os, fientes déshydratées, etc.), mais ils sont trop coûteux pour être utilisés en élevage ou en grande culture.

Parce qu'il est peu mobile, moins lessivable que le potassium par exemple, c'est un des minéraux qui s'accumule le plus facilement dans le sol. Malgré qu'il soit peu lessivable, la surfertilisation (organique et minérale), couplée à une érosion endémique, en ont fait un polluant majeur des cours d'eau. C'est pour cette raison qu'il est devenu le « méchant » de l'environnement, du moins dans les régions en surplus de fumier. Malgré cet excédent général, si vous n'êtes pas un importateur net de matière organique, il se peut quand même que votre système de production manque de P et que vous soyez obligé d'en importer sous une forme ou une autre.

P réserve du sol

Selon la géologie du sol et son histoire, la réserve en phosphore peut être plus ou moins abondante et plus ou moins disponible (Voir Tableau 2). Cette réserve est très majoritairement insoluble et peut provenir soit de la fraction minérale, soit de la fraction organique. Ce dernier cas est le plus fréquent dans nos régions. Dans tous les cas cette fraction insoluble ne peut combler les pertes d'exportation que si les besoins sont relativement faibles (bilan faiblement négatif). Ce peut être le cas en élevage et en grande culture par exemple, lorsque les importations remplissent en grande partie les besoins des cultures. Mais cette fraction ne sera disponible que si le sol est assez actif pour permettre la minéralisation et la solubilisation des réserves (Voir section 4), et à condition également que ces réserves soient à un niveau suffisant pour durer. Seule une évaluation sérieuse de la situation peut déterminer si ces conditions sont remplies. Cette évaluation doit se faire champ par champ, à partir d'observations terrain, d'analyses de laboratoires du sol et des cultures, le tout validé par des essais à la ferme.

Si, contrairement à l'azote, le phosphore ne peut être fixé à partir de l'air, certaines plantes, les crucifères par exemple, ont la réputation de le « concentrer ». Ces plantes auraient la capacité d'extraire le phosphore de la réserve du sol et de le rendre disponible pour les cultures subséquentes.

Le manque de phosphore au printemps

Un peu comme pour l'azote, mais à un degré moindre, les plantes exigeantes peuvent souffrir sur sol froid du manque de disponibilité de P au printemps. Mais tout comme pour le manque d'azote, la façon d'y remédier est entre autres d'utiliser les fertilisants organiques nerveux en départ de croissance (Voir section 9, tableau 5).

Plus que pour tout autre cas, parce que P est peu mobile, le maintien d'une bonne porosité du sol pour favoriser le développement précoce des racines est aussi très important.

Enfin, fournir suffisamment de N à la plante en début de croissance peut parfois solutionner les problèmes de disponibilité de P, augmentant ainsi la vigueur et la croissance de la plante, et par conséquent sa capacité racinaire à explorer un plus grand volume de terre.

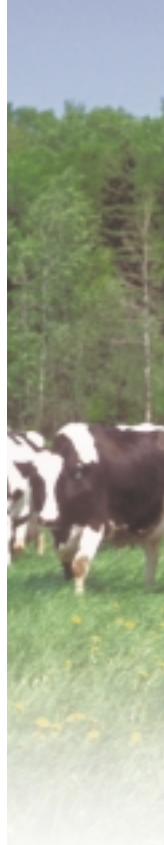


Tableau 2 - Teneur en différents nutriments de la réserve minérale et organique du sol

Éléments nutritifs	Réserve minéral sur 25 cm. de sol (3000 t. de sol/hectare)	Réserve organique
Phosphore	0,6 à 15 t./ha	150 kg à 1,5 t./ha
Potassium	20 à 80 t./ha	Nil
Calcium	15 à 1000 t./ha	300 kg à 3 t./ha
Magnésium	15 à 60 t./ha	-
Soufre	0,3 à 4,5 t./ha	120 kg à 1,2 t./ha
Manganèse	0,3 à 15 t./ha	3 à 15 kg/ha
Bore	12 à 300 kg/ha	3 à 15 kg/ha
Molybdène	3 à 30 kg/ha	1 kg/ha

3.3.3 D'OÙ VIENT LE POTASSIUM (K) EN AGROBIOLOGIE?

K recyclé

Comme pour le phosphore, on retrouve le potassium surtout dans les fumiers et autres résidus organiques. Mais, contrairement à P, on le retrouve toujours en solution, dans la fraction liquide. Parce qu'il n'est pas à proprement parlé un constituant de la matière organique et qu'on le trouve dans le liquide intra cellulaire des plantes, ce sera la même chose pour toute matière organique, y compris les résidus de culture : K sera toujours facilement disponible, soluble, ce qui veut aussi dire facilement lessivable. Pour cette raison on évitera les épandages d'après saison, à moins de pouvoir cultiver des engrais verts qui serviront « d'éponge » pour absorber et retenir ce qui est soluble jusqu'au printemps suivant (Voir *Saviez-vous que?*, page 13). Mais avant tout on évitera les pertes avant épandages, lors du stockage des fumiers. Parce qu'il est très lessivable, c'est le premier nutriment qu'on perd dans les fumiers dont les liquides sont perdus.

Sur une ferme d'élevage, la potasse est un élément pratiquement entièrement recyclé dans les fumiers et les résidus de culture (souvent plus de 95%). Si la fraction liquide des déjections est récupérée, et les résidus de culture bien gérés, le potassium est bien recyclé et la nécessité d'en importer sur la ferme est pratiquement nulle.

K nouveau

Comme pour le phosphore, dans un système de production agricole le potassium nouveau ne peut venir que de l'extérieur : par les importations organiques (aliments, paille, fumiers, lisiers, purins), ou par l'achat de suppléments minéraux insolubles et/ou solubles acceptés en agrobiologie.

Les suppléments minéraux insolubles sont populaires dans la littérature bio, mais sont peu efficaces en production, car K n'y est généralement pas plus facilement disponible que dans les réserves minérales insolubles des sols. D'autant plus que celles-ci sont souvent quantitativement beaucoup plus importantes que les apports d'amendements potassiques insolubles standard. Les suppléments potassiques insolubles sont des roches broyées (basalte, mica, etc.) et sont de même nature que la réserve du sol. À moins de n'avoir aucune réserve insoluble de potassium, comme dans les quartzs grossiers ou les gros sables très lessivés, ces suppléments sont peu utiles, car ils libèrent trop lentement le potassium.

Les suppléments minéraux solubles utilisés habituellement en agrobiologie sont les sulfates de potassium de source naturelle. Dans l'optique bio, c'est un fertilisant toléré, mais non recommandé. Chose certaine, en élevage ils sont peu utilisés. Les cas qui nécessiteraient leur usage sont :

- 1- des réserves solubles du sol très faibles (analyses), couplées à une absence de réserve minéralogique insoluble;
- 2- une perte importante de K dans les jus de fumier non récupérés;
- 3- des rotations exportant de grandes quantités de potassium de la ferme.

Mais même dans ces cas il sera souvent possible de combler tous les besoins en potassium si on dispose de purin ou de lisier de provenance externe. À dose raisonnable, cette source est nettement supérieure aux fertilisants minéraux, car en plus de fournir le nutriment manquant, elle fouette l'activité biologique du sol, ce qui « débloque » les réserves organiques trop stables et permet une meilleure reprise de la végétation.

K réserve du sol

Il n'y a pas de réserve de potassium dans la fraction organique du sol. Toutefois une partie de ce qui est soluble peut s'accrocher plus ou moins fortement au complexe organo-minéral du sol. Mais ce genre de complexe n'est pas nécessairement prédominant dans tous les sols au Québec et son rôle n'y est souvent que marginal.

À cause de leur origine géologique, dans plusieurs sols du nord-est de l'Amérique du Nord, les réserves de potassium sont habituellement plus élevées que les réserves de phosphore (Tableau 2). On y rencontre souvent des sols avec un bon niveau naturel de K à l'analyse. En élevage, à condition de très bien recycler le potassium des déjections animales, ces sols ne requièrent pas d'apports spécifiques en fertilisants potassiques. En grande culture, à condition d'avoir une bonne gestion des résidus et une gestion serrée des reliquats de potassium soluble en fin de saison (Voir *Saviez-vous que ?*, page 13), les importations organiques peuvent combler les besoins des cultures.

3.3.4 D'OÙ VIENT LE CALCIUM EN AGROBIOLOGIE?

En élevage comme en grande culture, la principale source de calcium est soit le chaulage pour les sols acides, soit la réserve du sol pour les sols saturés ou carbonatés. Par différents achats d'intrants (aliments, engrais organiques, etc.) on apporte certes du calcium. Mais cet apport ne sera pas suffisant sur des sols acides et sera relativement peu important dans le cas des sols carbonatés où les réserves sont telles, qu'elles éclipsent toutes les autres sources.

C'est l'évaluation de l'état calcique (tests terrains et analyses) qui va nous permettre d'établir les besoins en calcium d'un sol. Dans ce cas, en comblant par le chaulage les besoins de fonctionnement du sol, on comblera en même temps les besoins des plantes (Voir section 5.2).

? Saviez-vous que ?

Les engrais verts et l'effet éponge.

Dans les sols, tout ce qui est soluble risque d'être lessivé, emporté par l'eau lors des pluies abondantes. Tout lessivage constitue une perte de fertilisants pour les cultures qui suivent. Les reliquats d'azote et de potasse sont particulièrement fragiles au lessivage en fin de saison, après les cultures principales. Pour limiter ces pertes on ne fera les épandages de fertilisants que sur des plantes en croissance, ce qui exclut les épandages tardifs d'automne. Les cultures principales jouent habituellement ce rôle d'absorbant des nutriments. Mais dans les cas où c'est impossible, lorsqu'on veut épandre après une culture de céréales par exemple, les engrais verts ont cette fonction. Leur croissance tardive utilise les nutriments solubles qui continuent à être mis en disponibilité par le sol jusqu'à la fin de la saison. Elles les rendront aux cultures subséquentes lors de leur décomposition la saison suivante. C'est ce rôle d'absorbant que peuvent jouer les engrais verts que l'on appelle l'effet éponge. La culture d'engrais vert n'apporte pas des nutriments nouveaux dans le système de production. Toutefois, elle évite les pertes et donc l'obligation d'en importer de l'extérieur.



3.3.5 D'OÙ VIENT LE MAGNÉSIUM (Mg) EN AGROBIOLOGIE?

Comme pour le calcium, la principale source de magnésium est la réserve minéralogique du sol. Cela peut même être le cas sur des sols ferro-magnésien qui contiennent de bonnes réserves de magnésium insolubles. La présence de ces réserves n'est pas toujours évidente à la lecture des résultats d'analyses de sols, parce que ces réserves sont soit difficiles à attaquer par l'activité biologique et ne passent que très lentement dans la solution du sol, soit que le magnésium libéré est très rapidement lessivé. Toutefois le contraire peut aussi être vrai : les résultats d'analyses montrent des taux corrects en Mg, du moins pendant quelque temps, même si les réserves sont faibles.

Dans le cas du magnésium tous les cas de figure sont possibles et encore là, comme pour le calcium, ce sont les analyses couplées aux observations terrain qui permettront une évaluation sérieuse de la situation. En cas de besoin les principales sources de Mg sont les chaux magnésienne et/ou dolomitique.

Les engrais magnésiens, les sulfates de magnésium ou les doubles sulfates de magnésium et potassium (K-Mag, Sul-Po-Mag, etc.) sont de bonnes sources, mais restent du magnésium dispendieux. Surtout si les besoins sont grands, l'emploi de la chaux magnésienne reste l'apport le plus souhaitable, d'autant plus qu'elle apporte aussi du calcium. Pour ces raisons l'utilisation des engrais magnésien ne doit donc être qu'exceptionnel. Sur des sols très bien pourvus en calcium, là où le chaulage serait contre indiqué, par exemple.

3.3.6 D'OÙ VIENT LE SOUFRE (S) EN AGROBIOLOGIE?

Avec le calcium et le magnésium, le soufre est un élément qu'on dit «secondaire» dans les plantes, même si dans certaines espèces, des crucifères par exemple, il peut être plus abondant que le phosphore. S'il joue un certain rôle dans la réserve organique du sol (formation de la réserve protéique soufrée) et que certaines roches en contiennent, il n'est pas à proprement parlé un constituant du sol.

S réserve du sol

Certains sols en contiennent de bonnes réserves minérales, les zones à pyrite entre autres. Le soufre

est libéré lorsque les minéraux sont altérés. Si certains sols contiennent beaucoup de minéraux soufrés, d'autres n'en contiennent pas du tout. On ne peut donc présumer de l'importance de cette réserve, à moins de l'avoir évaluée correctement.

Habituellement dans les sols cultivés la réserve organique du sol contient aussi du soufre dans sa partie protéique. Dans plusieurs sols, elle est la principale réserve.

S recyclé et importé

Tous les fumiers contiennent du soufre. Les quantités peuvent toutefois variées selon l'alimentation des bêtes. Par exemple si on apporte des suppléments alimentaires contenant des protéines soufrées (protéines complètes), les taux seront plus élevés. Les fientes, les fumiers de volaille, ainsi que les lisiers et fumiers de porcs en sont particulièrement bien pourvus.

Tout achat de matière organique, suppléments alimentaires, fumiers et même les litières, en importe dans le système de production. La pollution atmosphérique, non contrôlable et non souhaitable, peut aussi en apporter de bonnes quantité dans la plupart des régions.

En élevage et en grande culture biologique, là où on rapporte des fertilisants organiques, les carences sont peu fréquentes. S'il y a peu d'épandage organique sur certains sols, sur les sols tourbeux par exemple, il peut y avoir carence.

On devra parfois en apporter sur des sols calcaires ou sur des sols surchaulés, afin de contrer les effets de l'excès de calcium. Comme pour les autres fertilisants on devra toujours bien évaluer chaque situation avant d'agir.

S'il y a carence vraie et qu'on ne rapporte que peu de fertilisant organique, on peut la corriger en apportant des engrais soufrés : en agrobiologie on utilise surtout les sulfates de potassium et/ou de calcium et/ou de magnésium si on a besoin d'un ou de plusieurs de ces éléments. Ou encore le soufre fleur (soufre « natif » ou élémentaire) si on ne veut apporter que du soufre. Toutes ces sources à action rapide sont acceptées par les certifications. Mais, dans certaines situations, on doit toutefois démontrer aux certificateurs qu'il y a une carence réelle avant d'utiliser certains de ces produits (consulter les cahiers des normes).

3.3.7 D'OÙ VIENNENT LES OLIGOS-ÉLÉMENTS EN AGROBIOLOGIE?

Pendant longtemps les besoins des plantes en oligo-éléments ne préoccupaient pratiquement que les agronomes. Depuis quelques années le produit « oligo » se vend bien et tout le monde s'en préoccupe. Par oligo-éléments, on entend que ces éléments ne sont nécessaires qu'en petite quantité pour le développement des plantes, mais que leur rôle est quand même très important pour la qualité et le bon rendement des productions végétales et animales.

En fonction de la croissance des plantes, on divise les oligo-éléments, ou éléments mineurs en deux groupes : les oligo-éléments obligatoires, qui devraient être présents en proportion diverse dans toutes les plantes ; et les non obligatoires qui peuvent être présents dans certaines plantes, ou facultativement présents dans toutes les plantes, en variant selon les conditions de croissance. L'absence de ces derniers n'est pas considérée comme étant problématique pour la croissance des plantes. Dans la littérature spécialisée actuelle, on considère le bore, le chlore, le cuivre, le fer, le manganèse, le molybdène et le zinc comme étant les oligo-éléments obligatoires.

Cette liste a toutefois varié dans le passé et est considérée comme étant trop restrictive par beaucoup d'agronomes.

D'où viennent les oligo-éléments ?

Dans le sol

La source la plus importante en oligo-éléments se trouve dans le sol même : réserve minérale et organique. Dans la fraction minérale du sol certains de ces éléments sont abondants et jouent un rôle important. C'est entre autres le cas pour le fer, la silice et l'aluminium qui sont des minéraux très abondants dans le sol : ils sont les principaux constituants des sols non calcaires. Mais seule une infime partie de cette réserve est, ou devrait être soluble pour la bonne croissance des cultures, car ces éléments ne sont présents qu'en petite quantité dans les végétaux. Comme pour tous les autres oligo-éléments, si on dépasse les doses nécessaires aux plantes, ils deviennent rapidement toxiques (à fortes doses, les « oligos » sont appelés des métaux lourds). Or ces doses sont faibles et se mesurent en kg/ha, voire en g/ha. La marge entre carence et toxicité est étroite, d'où l'importance encore plus grande que pour les autres nutriments de procéder à une bonne évaluation des besoins et d'intervenir avec prudence pour éviter les surdosages.

Les cas de carence les plus fréquents

Il existe pourtant des cas où les carences sont réelles parce que les réserves du sol en certains éléments sont faibles. C'est entre autres parfois le cas dans les sables grossiers quartzeux, lessivés. Dans ce cas il est possible que l'on soit obligé de faire des apports spécifiques de ou des éléments carencés, surtout s'il y a peu de restitution organique. Mais les carences vraies en oligo-éléments sont rares.

Dans certains cas, même si la réserve du sol en oligo-éléments est bonne, il est possible que par des pratiques agricoles fautes (le surchauffage, ou son contraire l'absence de chaulage, la surfertilisation en différents éléments, l'absence ou la surabondance d'apports organiques, etc.), on empêche les plantes d'utiliser certains oligo-éléments qui sont pourtant présents dans le sol. Ce sont des carences induites. Dans ce cas il faudra certes corriger ces pratiques, mais avant que la correction n'ait fait son effet, il faudra faire des apports spécifiques de l'élément carencé.

Le cas des carences induites est le plus fréquent. Sur les sols acidifiés ou en voie de l'être, la très grande majorité des « oligos » sont de plus en plus solubles, parfois trop solubles, ce qui les rend fragiles au lessivage. À plus ou moins long terme, s'ils sont continuellement lessivés, ils peuvent devenir inaccessible aux plantes. On corrige la situation en chaulant. Mais si les doses de chaux sont trop fortes, les « oligos » deviennent moins solubles, moins disponibles, voir totalement inaccessibles aux plantes. Sauf pour le molybdène qui devient plus disponible lorsque le pH du sol augmente après un chaulage et de moins en moins disponible lorsque le sol s'acidifie.

Carence pour les plantes

Bore

En grande culture, mais surtout en élevage où l'on produit beaucoup de légumineuses, on rencontre parfois des carences en bore. Cette carence est particulièrement fréquente sur les luzernes, même sur des sols et dans des conditions où on pourrait penser que les réserves en cet élément sont suffisantes. Comme la luzerne est une plante qui aime le calcium et n'aime pas les sols qui en manquent, on a l'habitude de chauler abondamment avant son implantation. Sur les sols très chaulés, la concurrence du calcium et le phénomène d'insolubilisation peuvent être suffisants pour bloquer le bore.

Pour éviter ce problème, il faut chauler plus régulièrement et fractionner les apports de chaux (Voir section 5.2). Mais si l'on fait face au problème, il faut appliquer une source de bore à action rapide, acceptable par les certifications agrobiologiques. Sur les sols minéralogiquement pauvres en bore, une gestion organique adéquate permettant d'entretenir une bonne réserve organique peut palier cette faiblesse.

Molybdène

La carence en molybdène est peu fréquente dans les plantes. Mais dans les sols acidifiés, sa faible disponibilité peut entraver la fixation optimale de l'azote par les bactéries symbiotiques des légumineuses. Comme cette fixation est une des seules façons économiques d'importer l'azote dans le système de

production, il sera important de corriger la situation. Cela ne nécessite généralement pas d'apports spécifiques en molybdène, mais demande un suivi plus constant dans le chaulage des sols, afin d'y maintenir un niveau acceptable de l'état calcique (Voir section 5.2).

Carence pour les bêtes

En élevage, les carences en sélénium et en iode sont fréquentes. Ces éléments ne jouent pas de rôle majeur dans la croissance des plantes cultivées, mais leur présence est fondamentale pour la santé de certaines bêtes. Les deux sont pratiquement absents de nos sols. Parce qu'il serait quasi impossible de corriger cette carence dans le sol, on les apporte directement en supplément dans l'alimentation des bêtes.

TABEAU 3 - Contenu en oligo-éléments de quelques types de fumier (exprimé en gramme/tonne de fumiers)

Espèces animales	Humidité %	B	Cu	Fe	Mg	Mn	Mo	S	Zn
Volailles	54	60	15	465	2900	90	5.5	3100	90
Bovins laitiers	82	15	10	40	1100	10	1	500	15
Bovins boucherie	78	20	5	40	1000	5	0.5	850	15
Porcs	72	40	5	280	800	20	1	1350	60
Chevaux	73	15	5	135	1400	10	1	700	15
Ovins	69	10	5	160	1850	10	1	900	25

Adapté de A. Scott



Faut-il acheter des amendements minéraux pour leur richesse en oligos ?

Depuis que le bio est bio et que des producteurs s'en réclament, ceux-ci se voient proposer toute une panoplie de suppléments riches en oligo-éléments, censée « guérir » le sol d'à peu près tous ses défauts, mais surtout de l'épuisement dû au « matraquage chimique ». La réalité est que si matraquage chimique il y a eu, celui-ci a surtout été dans le sens de la surfertilisation par les engrais et par les fumiers. Il est donc peu probable que vos sols, même après une longue parenthèse d'agriculture intensive, aient été épuisés en quoi que ce soit.

Toutefois dans certains cas, les productions maraîchères dans des régions où il y a peu d'élevage par exemple, il se peut que la restitution organique ait été inadéquate, ce qui a pu créer quelques carences. Mais même sous ces conditions, il n'y a pas nécessairement eu carence. À moyen terme, vos propres apports organiques bien planifiés devraient facilement grossir la réserve du sol.

Reste les situations où les carences sont réelles. D'abord ce ne sera sûrement pas une carence généralisée pour tous les oligo-éléments : elles se limiteront le plus souvent à un ou deux éléments. Dans de tels cas, comme nous l'avons dit plus haut, il est plus efficace et moins coûteux d'intervenir en correction plutôt qu'en prévention, et ce après avoir bien identifié la carence.

Plusieurs sources d'oligo-éléments offertes aux agrobiologistes proviennent de poudres de roches qui ne seront solubilisées que très, très, très lentement, sur quelques années, voire sur plusieurs décennies. Il va de soi que ces produits sont peu efficaces pour corriger rapidement les carences d'une plante en croissance.

Enfin toutes ces sources sont peu efficaces pour enrichir les sols qui en sont naturellement dépourvus, à moins d'en apporter tellement qu'on change la génétique du sol, ce qui représente un coût déraisonnable.

En général pour éviter les carences en oligo-éléments il suffit d'adopter de bonnes pratiques agricoles :

- 1- pratiquer une fertilisation organique adéquate;
- 2- si nécessaire, chauler sans surchauler;
- 3- éviter toute surfertilisation, même organique;
- 4- pratiquer des rotations complexes qui introduisent un maximum de diversité dans la flore;
- 5- lorsqu'elles se présentent, corriger directement les carences vraies par des apports spécifiques de produits à action rapide, en attendant que l'ensemble des autres bonnes pratiques ait corrigé le problème.

4 LE SOL

4.1 LA «RELATION SOL-PLANTE»

Pour se nourrir, la plante a besoin

- d'un bon système de racines;
- de nutriments solubles, lesquels ne seront libérés que par une activité biologique adéquate.

Le développement racinaire et l'activité biologique du sol nécessitent une bonne aération du sol en profondeur.

Une bonne aération ne se fait pas sans une bonne circulation de l'eau dans le sol.

Le développement d'un bon système racinaire des plantes, d'une activité biologique importante dans le sol, d'une bonne circulation de l'eau et d'une bonne aération est impossible sans une structuration adéquate du sol en profondeur.

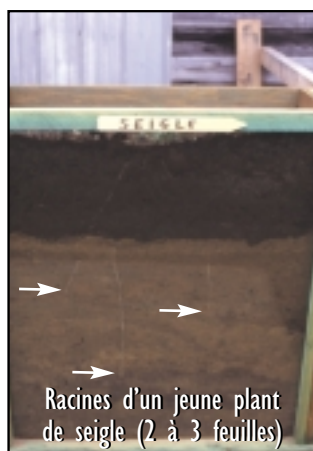
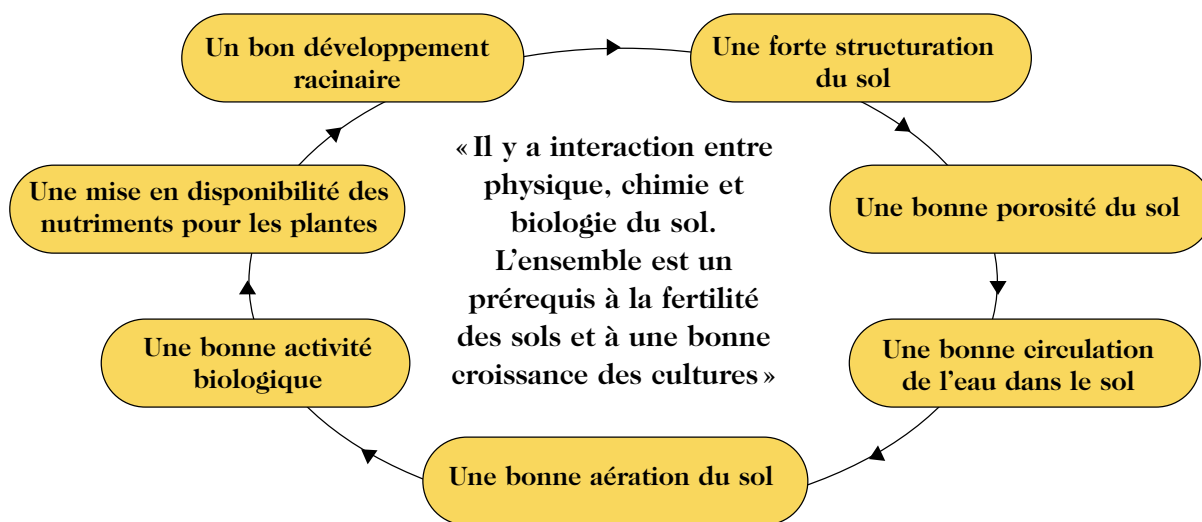
Ces constatations posent les bases de la fertilité des sols et sont autant, sinon plus importantes, que les

quantités et les formes de fertilisants et amendements à apporter pour obtenir de bonnes et belles récoltes.

Ces bases sont en théorie assez bien connues. Particulièrement en agriculture biologique, on s'en réclame souvent pour stigmatiser les mauvaises pratiques de l'agriculture industrielle. Mais les observations effectuées sur le terrain depuis plus de 20 ans nous obligent à constater que, même dans la pratique agrobiologique, ces éléments sont souvent négligés et la cause de rendements décevants.

Dans plusieurs régions du Québec, pour des raisons climatiques, géologiques et historiques, les sols sont naturellement fragiles et peu structurés. Cette dégradation de la structure n'est pas nécessairement causée par de mauvaises pratiques agricoles et on peut même la retrouver sous couvert forestier, ou sous de vieilles prairies. Mais peu importe l'origine du phénomène, il faut tout de même y apporter une correction

FIGURE 4 - LA BOUCLE DU FONCTIONNEMENT DE LA «RELATION SOL-PLANTE»



Racines d'un jeune plant de seigle (2 à 3 feuilles)



Racines d'un plant de luzerne mature



Racines d'un jeune plant de maïs (5 à 6 feuilles)

Dans de bonnes conditions, les racines de la majorité des plantes cultivées en système agricole peuvent atteindre plus de un mètre de profondeur.

4.2 LE LIEN ENTRE STRUCTURE DES SOLS ET FERTILISATION

Parce que nos sols au Québec sont souvent fragiles, le risque de perte de structure est important. Les travaux et le passage d'équipements lourds sur sols humides, les rotations à base de plantes sarclées, les mauvais chaulages, etc., sont toutes des situations qui mettent la structure du sol à risque. La perte de structure est une autre raison importante des mauvais rendements si fréquents lors du passage à l'agrobiologie. Car si par une fertilisation soluble abondante on peut en partie masquer le mauvais état de structure d'un sol, on ne peut que difficilement le faire lorsque la base de la fertilisation est organique et peu soluble.

L'état physique du sol dépend de la nature des particules du sol (la texture) et de la façon dont sont agencées ces particules entre elles (la structure). Si le producteur a peu d'influence sur la texture des sols qu'il cultive, il en a certes sur l'état de leur structure (Breune, 2000).

Dans la pratique, structurer le sol consiste à lier les parties fines du sol (sable, limon et argile) et la matière organique en de petits agrégats stables. Cette structuration rend les sols « lourds » (prédominance argiles, limons) plus poreux et les sols « légers », à particules grossières (prédominance graviers, sables), plus aptes à retenir l'eau.

Dans les deux cas cela permet :

Une meilleure circulation de l'eau dans le sol	Une meilleure aération des sols peu poreux	Une meilleure rétention des particules très fines du sol, gage de fertilité	Un meilleur développement racinaire
<p>Lorsque les éléments fins du sol sont liés en agrégats, ils laissent de petits espaces vides où peut s'emmagasiner l'eau. Lorsqu'il pleut beaucoup et que les sols sont gorgés d'eau, le surplus peut s'écouler facilement en empruntant ces vides, à conditions que ces derniers soient assez nombreux et qu'ils soient connectés entre eux pour former des micro canaux.</p> <p>Dans les sols très légers, l'agglomération de particules très fines aux fractions plus grossières va permettre de conserver plus d'eau dans le sol.</p>	<p>L'air qui permet la respiration des organismes du sol (activité biologique) se loge aussi dans ces vides. Si ceux-ci sont peu nombreux et plein d'eau parce qu'il y a peu de fissures pour le drainage des surplus, la réserve d'air du sol sera minime.</p> <p>Dans ce cas il y aura peu d'activité biologique possible, quoi qu'on fasse, même avec les meilleures pratiques d'agrobiologie. Or ce sont les microorganismes du sol qui digèrent la matière organique pour la décomposer et rendre disponibles pour les plantes les minéraux qui la composent.</p>	<p>Les éléments très fins qui peuvent être maintenus en suspension dans l'eau du sol, qu'ils soient organiques ou minéraux, peuvent être entraînés par l'eau (lessivage, érosion) si ils ne sont pas retenus dans les premiers centimètres de terre.</p> <p>La perte de ces éléments fins appauvrit le sol, génère de l'érosion et contribue à diminuer l'activité biologique.</p> <p>De plus sur le long terme, ces particules charriées par l'eau peuvent se déposer en fines couches, à des profondeurs variables dans le profil du sol et diminuer ainsi la porosité des sols, ce qui génère souvent la formation de zones indurées.</p>	<p>Les racines des plantes ont besoin d'une bonne porosité du sol pour se développer. Mieux structuré est le sol, plus le système racinaire sera développé, plus la plante sera efficace pour se nourrir, pouvant explorer un plus grand volume de terre.</p> <p>D'autre part, le sol aura besoin de ce développement racinaire pour rester « ouvert », c'est à dire poreux et structuré.</p>

Si l'ensemble de ce processus est ralenti d'une façon ou d'une autre, le sol devient moins fertile. Par conséquent, la culture est moins apte à utiliser toute fertilisation, quelle qu'elle soit. Particulièrement celle d'origine organique, qui a absolument besoin d'une bonne activité de minéralisation pour libérer sa réserve de nutriments.

LA FORMATION DE LA STRUCTURE DU SOL DÉPEND :

1) De la nature des particules, plus ou moins grosses, qui créent plus ou moins de porosité.

Mais aussi parce que les particules très fines du sol, peuvent porter des charges électronégatives à leur pourtour, ce qui attirent les charges positives des cations, tout comme les charges négatives et positives des aimants s'attirent mutuellement. Ces particules accrochées une à l'autre forment des agrégats plus gros, plus poreux et moins lessivables.

2) De la composition chimique du sol.

Pour que les particules à charges négatives du sol puissent se lier entre elles, il faut que la solution du sol (i.e. l'eau du sol et tout ce qui y est en solution) contiennent en abondance des ions chargées positivement.

Cette présence abondante de cation permet la floculation ou précipitation des argiles et des matières organiques colloïdales du sol. C'est à dire qu'en neutralisant en partie les charges négatives des colloïdes, ceux-ci sont précipités et peuvent s'agglomérer en amas plus gros, en flocons (d'où le terme floculation) assez importants pour qu'on puisse les voir à l'œil nu. Dans nos sols cultivés, même quand ils sont naturellement saturés en calcium ou chaulés, c'est surtout le fer (Fe^{+++}), qui va jouer ce rôle. Car en plus d'être abondant, ce lien est plus fort que le lien calcique, ce qui le rend prépondérant. Malgré cela, d'entrée de jeux nous insistons sur le chaulage, parce que le fer, contrairement au calcium, change facilement de forme, entre autres en fonction des variations de l'acidité du sol. Il faudra donc chauler pour minimiser ces variations si on veut que le fer reste un lien efficace en permanence (Voir section 5.2)

3) De l'activité biologique du sol.

Au Québec, c'est le plus souvent l'activité biologique qui est de loin le principal structurant des sols agricoles. Parce que souvent nos sols sont surtout limoneux ou sableux et que même les argiles y ont peu de charge négatives, le complexe argilo-humique peut difficilement se former et ne joue pas un rôle majeur en tant que structurant. De plus les réserves organiques (matière organique du sol) formées sur des sols forestiers souvent acides peuvent difficilement s'accrocher aux argiles. Sauf parfois dans les sols naturellement saturés en calcium, l'ensemble de ces phénomènes a rendu nos sols « difficiles » à structurer par la création de complexes et sensibles à la déstructuration. Seule l'activité biologique du sol, en agglomérant les fines du sol et en maintenant ouvert les vides que cela crée, peut palier cette « faiblesse » (Voir section 4.3).



Agrobiologie et structure du sol

Les parcelles qui sont conduites en agrobiologie depuis longtemps développent-elles toujours une bonne structure de sol? Non, pas toujours. Pourtant plusieurs agrobiologistes pensent (et on le lit aussi parfois dans la littérature spécialisée) qu'en adoptant les pratiques agrobiologiques, les sols développent automatiquement une structure adéquate, surtout grâce à l'utilisation d'amendements et de fertilisants organiques, mais aussi en évitant l'utilisation de pesticides réducteurs de l'activité biologique.

Des évaluations de terrain de longues durées menées chez des agrobiologistes et sous toutes sortes de conditions nous démontrent que cela ne suffit pas. Agrobiologie ou pas, si vos sols sont mal drainés, désaturés en calcium, si vous travaillez des sols trop humides et que vous y roulez avec de l'équipement lourd, bref si vous ne prenez garde de respecter le b.a.ba des bonnes pratiques de gestion des sols, ceux-ci se déstructureront. Et ce manque de structure de surface sera encore accentué si ces sols étaient déjà naturellement déstructurés depuis toujours en profondeur.

Pourtant, plus que toute autre approche, l'agrobiologie possède tous les outils pour « remettre le sol en pleine forme ». La fertilisation organique bien comprise en est un, mais ce n'est pas suffisant. En polyculture élevage biologique l'utilisation d'un ensemble de bonnes pratiques de gestion des sols (travail adéquat, chaulage, rotation, etc.) permet de créer ou recréer rapidement une bonne structure de sol et d'augmenter ainsi la fertilité générale des parcelles. En grande culture cette correction est un peu plus difficile et obligera à copier les rotations pratiquées en polyculture élevage, par exemple par l'utilisation systématique d'intercalaires et d'engrais verts de toutes sortes.

D'autre part l'utilisation surabondante de matière organique, telle qu'on la rencontre parfois en agrobiologie ne structure pas le sol. Elle pourra parfois le rendre plus poreux en surface, mais ne permettra pas nécessairement une meilleure rétention des nutriments. Sur le long terme, la multiplication d'apports trop importants peut même être destructurants pour le sol, surtout dans les horizons profonds.

4.3 ACTIVITÉ BIOLOGIQUE ET STRUCTURE DU SOL

Le sol est-il vivant? Chose certaine, il renferme beaucoup d'organismes vivants qui ont un impact très important sur la qualité des sols et la productivité des plantes.

L'activité de décomposition.

Lorsqu'on laisse ou qu'on apporte des matières organiques facilement dégradables au sol, dans de bonnes conditions il se développe une importante population de micro organismes qui s'en nourrit et les décompose. C'est ce qui constitue le gros de l'activité biologique du sol. Si les apports sont en quantité raisonnable, ni trop, ni trop peu, cette activité biologique sera structurante pour le sol. Des «colles» secrétées par les bactéries, le mycélium des champignons qui s'enchevêtre aux fines particules du sol et d'autres phénomènes du même ordre, agglomèrent en boulettes plus ou moins grosses les fines particules du sol. Cette activité est efficace en surface du sol, mais concourt peu à en structurer les couches profondes.

À ces micro organismes se joignent aussi des macro organismes (vers de terre, collemboles, etc.) qui vivent aussi de la décomposition de la matière organique et contribuent à la structuration du sol. Leur rôle est toutefois moindre que celui des microorganismes.



Les racines des plantes

Parmi les organismes vivants du sol, le système racinaire des plantes est de toute première importance. Pour se développer les racines des plantes envahissent toutes les fissures, les cavités et les pores du sol qui sont assez volumineux. En grossissant elles les maintiennent ouverts, voire les agrandissent. Une fois en place elles servent à minimiser le tassement, tant en surface qu'en profondeur, et aident à contrer l'encroûtement de surface, ce qui permet une meilleure respiration du sol. De plus le fin réseau de radicelles agit comme un filet pour maintenir le sol en place. Enfin les exsudats racinaires, des espèces de colles, agglomèrent en boulettes la fraction fine du sol. Cette ensemble de phénomènes qu'on peut appeler «effet racinaire» est la base de la structuration de nos sols

Selon les espèces de plantes, le système racinaire sera plus ou moins développé et les racines descendront plus ou moins en profondeur. Elles plongeront au moins à un mètre pour pratiquement toutes les plantes cultivées, à condition que la porosité et le drainage le permettent. Car les racines ne perforent pas les couches indurées, voire simplement fermées par une faible porosité. Dans ces conditions les racines restent en surface et ne peuvent aider à la structuration en profondeur. Mêmes les racines des plantes qu'on dit défonceuses ont quand même besoin d'un minimum de porosité pour se développer.

Saviez-vous que ?

À propos des vers de terre

Les vers de terre ne structurent pas, mais aèrent le sol. Les galeries perforent le sol et permettent à l'eau de mieux circuler, aux organismes du sol de mieux respirer, aux racines des plantes de descendre plus en profondeur. Mais si le sol n'est pas structuré, ces galeries permettent aussi aux particules fines et aux nutriments en général d'être lessivés, c'est à dire entraînés en profondeur. La production de turricules, si souvent citée comme exemple de structurant des sols, ne joue souvent qu'un rôle mineur dans l'ensemble du processus de structuration. Il peut y avoir de très bons sols avec peu de vers de terre et d'autres peu productifs qui en contiennent beaucoup.

La présence de vers de terre, même en abondance, n'est pas suffisante pour structurer ou aérer correctement un sol. Pour qu'il y ait abondance de vers de terre, il faut beaucoup de

matière organique et un taux d'humidité élevée. Ce qui n'est pas nécessairement souhaitable tant pour la structuration des sols, que pour le développement d'une activité biologique intense et, par conséquence, pour l'amélioration de la qualité des productions et des rendements. Une très grande population de vers n'est souvent que l'indice d'une accumulation organique importante dans les sols.

Bien que le rôle du ver de terre soit très positif, l'aération du sol ne peut pas dépendre que de son travail. Car si l'eau ne peut suivre que les galeries des vers pour être évacuée, il y aura engorgement lors de fortes pluies, ou à la fonte des neiges. C'est un ensemble de bonnes pratiques qui peut nous permettre d'améliorer ou de conserver le sol dans un état adéquat de structuration: drainage, chaulage, rotation, fertilisation adéquate, etc.

Le maintien de la structure des sols : une préoccupation permanente

La structuration du sol par l'ensemble de cette activité biologique est certes efficace, mais elle ne dure pas. Elle est à refaire pratiquement à chaque saison et à protéger en permanence. On encourage la structuration du sol en introduisant des prairies et/ou engrais verts jeunes dans la rotation. Dans les grandes cultures sans prairie, les intercalaires devront être utilisés le plus souvent possible afin d'offrir une couverture adéquate du sol par les plantes et de maximiser le développement racinaire (Voir section 7). En élevage et en grande culture, l'apport de matières organiques labiles, jeunes et faciles à dégrader, aide aussi à la structuration du sol en nourrissant une activité biologique intense. Sur la ferme, les fumiers frais à C/N peu élevé, les très jeunes composts, les lisiers, les purin, les engrais verts jeunes joueront ce rôle. Les fumiers et les composts stables n'auront pas cet effet structurant dans nos sols (Voir section 6).

4.4 ACTIVITÉ BIOLOGIQUE ET MATIÈRE ORGANIQUE

Les organismes vivants du sol sont avant tout des décomposeurs de la matière organique. Ils ont besoin de conditions propices et de nutriments pour se développer. Les conditions propices sont la présence d'eau et d'air en quantité suffisante dans le sol, une température assez élevée et un niveau d'acidité adéquat. Les nutriments les plus importants utilisés par les microorganismes du sol sont le carbone (C) et l'azote (N) que l'on retrouve dans la matière organique. En utilisant le C et le N, ils décomposent la matière organique et libèrent les autres nutriments qu'elle contient. Ceux-ci deviennent ainsi disponibles pour les plantes. C'est par ce processus que la fertilisation organique nourrit les plantes.

Toute la matière organique n'est toutefois pas décomposée au même rythme. Une partie labile est décomposée rapidement, en une saison ou deux. Une autre partie plus stable ne l'est que très lentement, sur plusieurs années, voire sur des décennies ou plus. De la fraction minéralisée, une partie est également réorganisée en composés plus stables, plutôt que de servir à la croissance des plantes. Selon la prépondérance plus ou moins grande d'un des deux phénomènes, accumulation ou minéralisation, il se créera plus ou moins de réserve organique dans le sol. Cette réserve sera décomposée lentement, voire très lentement, et fournira une certaine partie des

nutriments nécessaires aux plantes en été, pendant les périodes de forte activité biologique. Toutefois elle ne fournit presque rien lorsque le sol est froid et l'activité biologique réduite, comme au printemps par exemple.

Dans tous les sols, une certaine accumulation organique est nécessaire afin de permettre la formation d'une réserve de nutriments et de participer aussi à la structuration des sols. Toutefois si elle est en excès la matière organique peut au contraire devenir destructurante pour les sols.

À propos de l'augmentation rapide du taux de matière organique du sol.

L'accumulation des matières organiques du sol, qui se traduit à l'analyse du labo par une augmentation rapide du taux de matière organique, n'est pas nécessairement bonne pour le sol, pas plus qu'elle n'est le reflet de pratiques agricoles adéquates.

Pour qu'il y ait augmentation rapide de ce taux :

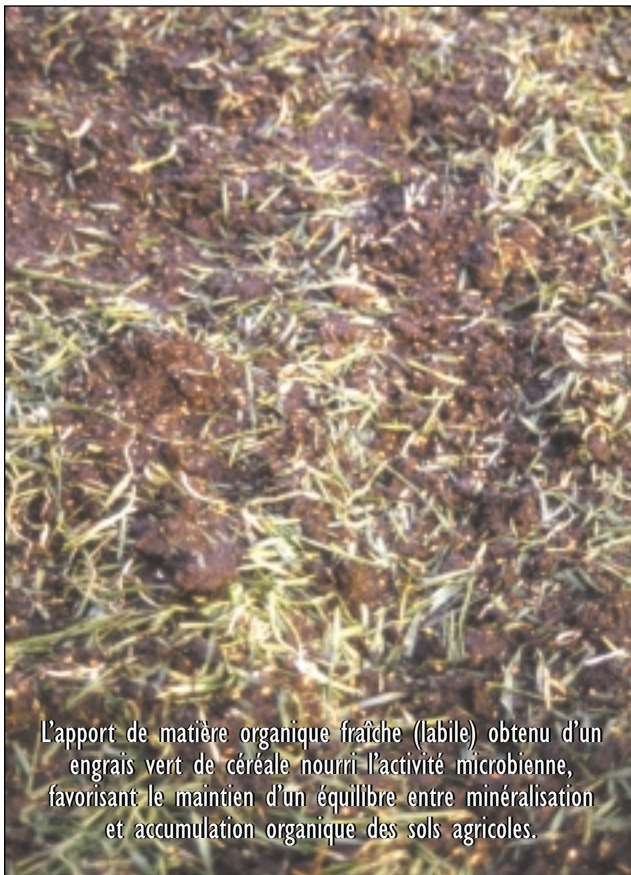
- soit qu'on diminue l'activité biologique du sol pour freiner la minéralisation, ce qui n'est généralement pas souhaitable, surtout en agrobiologie,
- soit qu'on épande de très grandes quantités de matière organique, une pratique qui a un effet destructurant sur la plupart des sols.

Dans ce dernier cas cet effet n'est pas perceptible après un seul épandage. Mais à long terme, le « surplus organique » qui ne peut être réorganisé, structuré dans le sol, est entraîné plus ou moins en profondeur. Après plusieurs années il viendra à bloquer les pores (petits vides, fissures) du sol.

Il faut certes maintenir un taux adéquat de matière organique dans le sol. Ce taux adéquat variera selon les types de sols. Il correspond en gros à ce qu'un sol peut « digérer » sans perte d'éléments fins dans le profil. Le dépassement de ce taux n'améliorera pas la fertilité du sol. Même sur des sols dont le taux de matière organique est faible, des apports massifs, surtout s'ils sont répétés, contribueront à long terme à leur destructuration. Selon l'importance du phénomène, l'aération du sol et sa facilité de stocker et d'évacuer les surplus d'eau seront à plus ou moins long terme diminuées.

Malgré tous les aspects positifs liés à la matière organique dans les sols, il ne faut donc pas trop encourager l'accumulation organique, au risque de diminuer rendements et qualité des cultures. D'autant plus que sous nos climats, les sols ont naturellement cette tendance.

En fonction de ses caractéristiques, un sol peut renforcer la tendance à l'accumulation organique liée au climat ou, au contraire, la contrer. Les pratiques agricoles peuvent aussi favoriser une tendance ou l'autre. En agrobiologie, un sol fertile est celui qui maintient l'équilibre entre minéralisation et accumulation. L'agriculteur doit donc agir de manière à éviter l'accumulation et chercher ce juste équilibre. Par exemple un sol aéré, structuré, carbonaté aura moins tendance à accumuler la matière organique qu'un sol fermé, humide et acide. Cet équilibre devra être déterminé au cas par cas, par une évaluation adéquate des sols de chaque parcelle et de l'ensemble du système de production.



L'apport de matière organique fraîche (labile) obtenu d'un engrais vert de céréale nourri l'activité microbienne, favorisant le maintien d'un équilibre entre minéralisation et accumulation organique des sols agricoles.

5 GESTION DU SOL : LES PRATIQUES STIMULANTES DE LA FERTILITÉ

Drainage, chaulage, travail de sol, ne sont pas en soi des pratiques de fertilisation. Elles ont toutefois un effet direct sur l'expression de la fertilité du sol et favorise la nutrition des plantes. En fonction des spécificités de sa ferme, le producteur biologique emploie sa propre combinaison de ces diverses pratiques de manière à construire un système de culture performant.

5.1 LE DRAINAGE

Le drainage des sols est en agriculture biologique incontournable. On entend par le terme drainage non pas la pose de drains, mais bien l'idée de sortir en tout moment l'excès d'eau de la parcelle. Sous nos climats il pleut beaucoup, surtout à des époques de l'année où l'évapotranspiration est faible. Dans ces conditions, les réserves d'eau du sol sont abondantes et il devient fondamental d'éliminer les surplus qui ne manquent pas de s'accumuler chaque année. Si c'est surtout le cas au printemps et en automne, ça peut aussi l'être pendant la forte période de croissance des plantes en été.

Dans tout le profil de sol, l'eau ne doit jamais stagner, mais s'écouler rapidement même après une pluie importante. Ce drainage doit empêcher à tout prix toute remontée, ne fut-ce que temporaire, des nappes. Les remontées d'eau, même de très courtes durées, ont un effet dévastateur sur la structure des sols. Cette perte de structure augmente le danger d'asphyxie en période humide (moins d'air « stocké ») et le danger de manque d'eau pour les cultures en saison sèche (moins d'eau « stockée »). Ce phénomène est une cause importante de faibles rendements en agrobiologie.

Si beaucoup de parcelles ont été drainées sur les fermes en agrobiologie, plusieurs ont encore quand même des problèmes d'égouttement. Sans pour autant tomber dans l'excès, le drainage est l'élément clé pour permettre le démarrage du fonctionnement des cycles biologiques du sol et donc du démarrage des cultures. C'est le premier pas pour optimiser toute fertilisation.

5.2 LE CHAULAGE EN FONCTION DU SOL

Dans l'ordre des priorités, le chaulage vient tout de suite après le drainage, parce que l'état calcique a aussi un impact sur tous les autres aspects de la fertilité du sol.

Un sol a tendance à s'acidifier tout naturellement d'autant que des récoltes abondantes sont exportés et que le climat est relativement pluvieux. Parfois le sol est génétiquement capable de contrecarrer ce phénomène. Souvent non, et il faut l'aider. Le rôle de l'agriculteur est de combler par le chaulage les situations où le sol naturellement n'a pas, ou n'a plus, en quantité suffisante le carbonate de calcium et/ou de magnésium pour lutter contre l'acidité produite par une production agricole intensive. La majorité des sols du Québec ont une faible réserve de calcium-magnésium actif, et nécessitent donc un chaulage régulier.

Chauler en fonction du pH ?

Traditionnellement, le chaulage est recommandé dans le but de modifier le pH du sol en vue d'obtenir un pH optimal pour la croissance des plantes. Selon cette approche, le besoin de chauler est dicté par la nécessité de réagir lorsque le pH_{eau} du sol chute en deçà d'un niveau déterminé, soit environ 6,3. Selon le type de sol, on détermine alors la quantité de chaux à appliquer (utilisation du modèle du pH tampon). Les doses de chaux recommandées varient entre 2,5 tonnes et 10 tonnes à l'hectare, l'objectif étant de ramener le pH_{eau} entre 6,5 et 6,8.

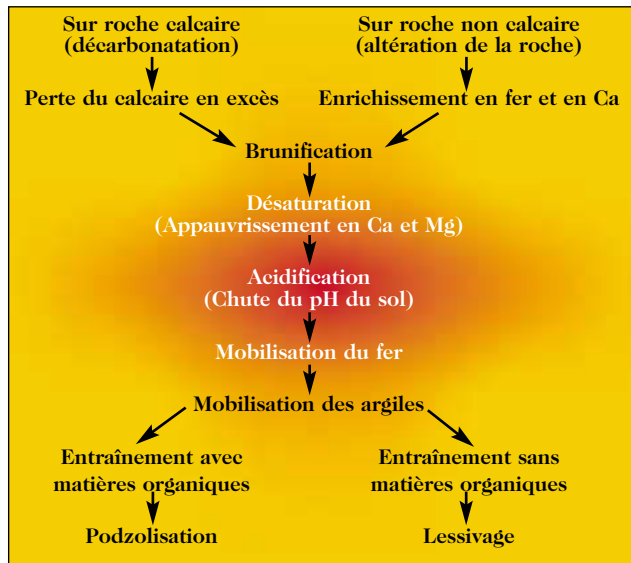
Chauler en fonction du sol

Les observations et recherches des dernières années (Albrecht, Hérody, CDA) proposent une stratégie de chaulage adapté au fonctionnement optimal du sol et de son activité microbienne. Cette approche considère que le chaulage ne doit pas être raisonné qu'en fonction d'une fluctuation du pH_{eau} du sol. Cette fluctuation est un indicateur trop tardif et variable pour permettre d'intervenir adéquatement. À l'échelle géologique sous nos climats le phénomène d'acidification du sol est une étape normale dans la séquence d'évolution du sol. La figure 5 montre comment le processus d'acidification est la conséquence de l'appauvrissement des sols en calcium et magnésium (désaturation). L'objectif du producteur biologique est de ralentir ce phénomène et d'éviter d'atteindre le niveau d'acidification avant d'intervenir. En d'autres mots, le chaulage ne doit pas chercher à corriger un pH_{eau} trop acide, mais plutôt à maintenir une réserve adéquate en calcium et en magnésium en fonction de l'évolution de l'ensemble de l'état calcique du sol. Cette façon de faire minimise les fluctuations de pH du sol au cours d'une saison, favorisant les conditions optimales de fonctionnement du sol.



Chauler la terre est plus souvent identifié comme une pratique de gestion et d'amendement des sols agricoles que de fertilisation. Toutefois son impact positif sur la fertilité des sols et la croissance des cultures est primordial.

Figure 5. Séquence d'évolution pédologique des sols



Adapté de Hérody, 1997

Par cette approche, l'intervention de chaulage n'est plus « de redressement » par des chaulages massifs, mais plutôt « de maintien ». Un « chaulage de maintien » est planifié sur une base régulière, annuelle ou bisannuelle. Pour chaque apport les doses sont évidemment beaucoup moins élevées que lorsque le chaulage est pratiqué à un intervalle de plus de 5 ans. On parle de dose de l'ordre de 400 kg/ha à 1500 kg/ha de chaux agricole par année. À ces doses, le « surchaulage » est évité, bien que les apports soient annuels.

Quelle sorte de chaux utiliser ?

Une fois que le besoin de chauler est établi, et qu'une dose est recommandée, on peut agir de deux manières :

- effectuer un apport de chaux agricole standard (chaux fine);
- ou utiliser une chaux à fraction grossière, de granulométrie 0-1/8.

Dans une situation où il faut corriger une forte acidification du sol, la chaux fine s'avère efficace parce que facilement mise en solution et rendue active. On peut répéter son utilisation quelques années. Une fois atteint un enrichissement adéquat de calcium et de magnésium, il devient moins nécessaire d'utiliser un produit rapidement assimilé par le sol. De plus, il n'est pas toujours pratique d'intervenir annuellement avec 500 kg de chaux fine à l'hectare. L'utilisation d'une chaux 0-1/8, dont une partie de la réserve de calcium sera disponible sur

une plus longue période, devient alors intéressante. Ce type de chaux peut être utilisé à environ quatre fois la dose d'une chaux standard et son effet sera réparti sur quelques années. Une fois atteint un niveau de saturation adéquat de calcium-magnésium, on peut prévoir des apports à tous les 3 à 5 ans de ce matériel à granulométrie étalée au lieu des apports annuels d'une chaux fine.



5.3 LE TRAVAIL DU SOL

Outre son rôle de préparation du sol au semis et de gestion des mauvaises herbes, les pratiques de travail du sol peuvent influencer grandement la fertilité. Bien qu'en principe le non-travail du sol soit possible et dans certaines conditions fort avantageuses, il faut quand on le pratique s'assurer régulièrement par l'observation de profils que les sols restent meubles et aérés dans toutes les parcelles (Voir section 11.2.1). La conséquence d'un manque d'oxygène a un effet négatif sur le fonctionnement du sol et l'expression de sa fertilité. C'est d'autant plus vrai en régie biologique, où le démarrage des cultures ne peut compter sur un apport d'azote synthétique pour compenser un fonctionnement ralenti du sol.

Dans les sols où la matière organique a tendance à s'accumuler (Voir section 4.4), le travail du sol peut permettre le déblocage et accentuer sa minéralisation, favorisant ainsi sa contribution à la fertilisation des cultures.

Depuis quelques années de nombreux instruments de travail du sol sont apparus sur les fermes. En général, ils sont conçus pour remplacer le labour traditionnel et sont censés être des instruments de conservation des sols. La réalité est que, si certains sont intéressants dans des situations spécifiques, aucun n'est une panacée pouvant régler tous les problèmes de dégradation physique des sols.

Pour un peu mieux comprendre l'utilité de ces outils, il faut se reporter à la spécificité des systèmes de production et leur impact sur les sols. Par exemple, dans des systèmes de rotation de cultures annuelles, où il n'y a pas de plantes « structurantes » (des plantes de prairie) et où les sols sont donc plus exposés aux aléas du climat et aux passages d'instruments lourds, il est fondamental de les protéger par une couche de résidus de cultures. On aura d'autant plus avantage d'utiliser des pratiques qui laissent un maximum de résidus en surface : no-till, billons, chisel, cultivateur lourd, etc.

Toutefois, le fait de laisser des résidus de récolte en surface du sol ne sera pas suffisant en soi pour maintenir une fertilité optimale. Ces techniques devront absolument être associées aux autres pratiques structurantes : chaulage, drainage, stimulation de l'activité biologique, etc.

De même pour corriger les zones indurées qui peuvent se trouver plus ou moins en profondeur dans certains sols, il faudra généralement utiliser un instrument qui pourra travailler assez en profondeur pour fissurer ces zones. Au delà de 30 cm, il faudra sous-soler. Pour éviter d'avoir à répéter ces opérations, il est impérieux de cultiver immédiatement après l'opération une plante dont les racines fasciculées envahiront les fissures laissées par le travail mécanique et compléteront le travail de restructuration du sol. Les céréales, surtout le seigle et l'avoine, et le raygrass peuvent servir à cette fin.

Mais les conditions de travail du sol seront toujours prioritaires au travail lui-même. Il vaut mieux ne rien faire que de le faire dans des conditions adverses, et ce quel que soit le type d'instrument utilisé. Surtout pour le sous-solage qui doit se faire en période où le sous-sol est sec. Sous-soler en période humide risque d'empirer le problème.

6 LA GESTION DES ENGRAIS ORGANIQUES

L'utilisation des engrais organiques (fumiers, lisiers, composts, etc.) est de première importance dans la planification des cultures en bio. Qu'ils soient produits sur l'entreprise ou importés d'entreprises voisines, ils sont la source de fertilisants la plus commune et la plus utile des fermes en agrobiologie.

Le raisonnement des apports de fumier en fonction des diverses situations propres à une entreprise repose sur certaines règles générales qui doivent être rappelées.

(Voir section 4.2), il est peu fréquent de rencontrer des sols aptes à recevoir des doses de plus de 30 tonnes à l'hectare.

On pourrait discuter longtemps à propos d'une date limite d'épandage à l'automne. Il n'en demeure pas moins que l'utilisation des fumiers sur une plante en croissance offre les meilleures conditions de valorisation des engrais apportés. Cette technique est justifiée pleinement pour son efficacité environnementale, mais aussi pour son efficacité agronomique et économique à recycler les éléments nutritifs de la ferme.

Aujourd'hui, la technologie d'épandage des engrais organiques (solides et liquides) offre beaucoup plus de flexibilité d'utilisation au cours de la saison. On peut épandre en pré-semis, en post-levée, au cours de la saison en couches très minces, etc. Ceci facilite tout particulièrement la mise en disponibilité de N aux cultures exigeantes en départ de végétation (Voir section 9).

6.1 VALEURS DES FUMIERS, FIENTES, LISIERS ET PURINS



La calibration dans la parcelle des épandeurs d'engrais organiques est à la base d'une bonne stratégie de fertilisation en agrobiologie

Il est nécessaire de planifier la distribution des engrais organiques dans le temps et dans l'espace. Tous les sols de la ferme doivent en recevoir régulièrement. L'épandage des engrais organiques tient compte du plan de rotation. Ce dernier doit être construit de manière à offrir des moments d'application tout au cours de la saison de croissance des plantes.

Les besoins de la culture déterminent les doses d'apport. Mais attention, le gaspillage d'azote est relativement fréquent. Un retour de luzerne, suivi d'un engrais vert et accompagné d'un apport de fumier peut facilement représenter un potentiel de plus de 200 kg/hectare d'azote (Tableau 8).

Il n'est pas toujours équivalent d'apporter 45 tonnes de fumier tous les trois ans ou 15 tonnes par année pendant trois ans. Les gros apports sont possibles sur des sols dont la capacité de fixation est excellente, mais contre-indiqués dans des sols filtrants dont la capacité de fixation est faible (Massenot, 2000). Au Québec, en raison des caractéristiques de nos sols

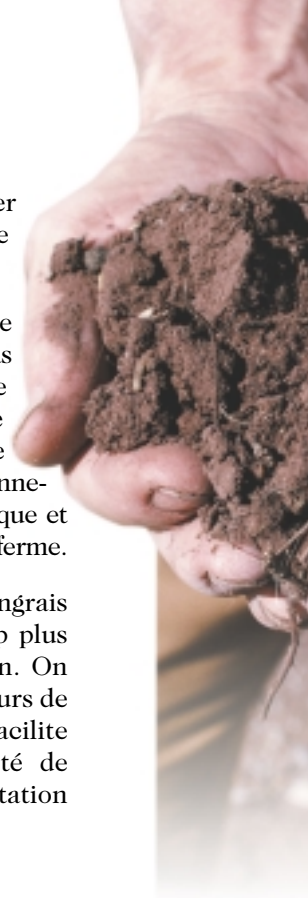


Peu importe le système d'entreposage des déjections animales, le recyclage de tous les nutriments est de toute première importance dans le maintien et l'amélioration de la fertilité du système de production.

Les fumiers.

Les fumiers sont le mélange des déjections animales et de litière. Tous les fumiers sont utilisables avec profit. Ils sont riches en tous les nutriments (Tableau 4).

Sur les fermes d'élevage, l'utilisation des fumiers aux champs permet de recycler les nutriments. Ce recyclage est de toute première importance pour maintenir et améliorer la fertilité. Ils représentent la base de la stratégie de fertilisation en agrobiologie.



Importés sur la ferme sans élevage, les fumiers apportent de nouveaux nutriments. Ils sont souvent la meilleure source de fertilisant dont peut disposer le céréaliculteur.

En plus de fertiliser, les fumiers nourrissent l'activité biologique du sol. Surtout en élevage, c'est le choix de la rotation des cultures qui joue le rôle le plus important dans cette tâche, mais l'apport des fumiers renforce ce rôle. En grande culture, surtout si les rotations sont peu complexes, il se peut que ce soit surtout les fumiers qui nourrissent l'activité biologique et il faudra beaucoup de doigté pour que celle-ci soit adéquate.

Par la litière qu'ils contiennent, les fumiers permettent l'accumulation d'une réserve organique dans le sol. Ce rôle est moins important en système d'élevage où la prairie prédomine, mais il peut être de première importance en grande culture, sur des rotations simplifiées qui laissent peu de résidus organiques au sol. À cause du carbone (C) qu'elle contient, la litière diminue la rapidité d'utilisation de l'azote (N) des fumiers et minimise l'effet démarreur sur les sols froids.

Les lisiers, les fientes et les purins.

On a longtemps «démonisé» les fumiers liquides en agrobiologie. Pourtant, bien gérés, ils sont fort utiles dans une stratégie de fertilisation. On appelle lisier le mélange des déjections solides et liquides des bêtes qui ne contient pas de litière. Les fientes sont les déjections des volailles, sans litière. Les purins ne comprennent que la partie liquide des déjections.

Bien que leur composition soit différente, à cause de l'absence de litière, ces trois engrais jouent surtout un rôle de fertilisant et ne contribuent pas à la formation de la réserve organique du sol. Parce qu'une bonne partie de leurs minéraux sont sous des formes solubles ou facilement solubilisables, les trois jouent un rôle majeur dans la fertilisation des plantes. Ils apportent aussi aux micro-organismes une nourriture facilement disponible qui encourage le développement d'une activité biologique intense dans les sols. La majeure partie de leurs nutriments est utilisable dès la première saison après l'épandage, et sous nos climats, ils sont assez nerveux pour servir de «starter» aux semis hâtifs (Voir section 9).

TABLEAU 4 - Composition moyenne de quelques fertilisants organiques *

	C/N	N⁽¹⁾	P₂O₅⁽¹⁾	K₂O⁽¹⁾	Humifère⁽²⁾	Fermentable⁽³⁾
Fumier vache	14 à 18	6	3	6	M	M
Fumier porc	12 à 16	6	4	6	M	M
Fumier volailles	10 à 13	24	21	20	P	R à M
Fumier mouton	20	6,7	4	11	M	M
Fumier chèvre	N.D.	6	5	6	M	M
Fumier cheval	20 à 30	7	3	8	M	M
Lisier vache	8	4	2	5	N	R
Lisier porc	5 à 8	4,5	3,5	3	N	R
Fientes	8 à 10	15	12	9	N	R
Purin vache	0,8 à 3	2,5	0,2	5,5	N	R
Paille avoine	40 à 80	7	4	20	B	L
Paille blé	70 à 150	8	3	20	B	L
Paille orge	60 à 100	8	3	17	B	L
Paille seigle	60 à 100	4	2	10	B	L
Foin légumineuse	14 à 20	25	6,9	23	M	M
Foin graminée	18 à 25	13	5	19	M	M
Tige maïs (sec)	40 à 60	6	2,6	6	B	L
Tige canola	40 à 60	7	2	18	B	L
Feuilles mortes	30 à 70	4,5	2	5	M	L
Tontes gazon	12 à 20	22	5	12	P	R
Sciure de bois	100 à 500	1,5			B	TL
Bois de taille	80 à 200	3	1	4	B	TL
Compost fumier vache	12 à 16	6	4	8	M	L
Compost végétal (plantes herbacées)	15 à 20	5	3	7	M	TL
Plumes	N.D.	90 à 150	2	2	N	TL

(1) **N**, **P₂O₅** et **K₂O** sont en kg par tonne humide.

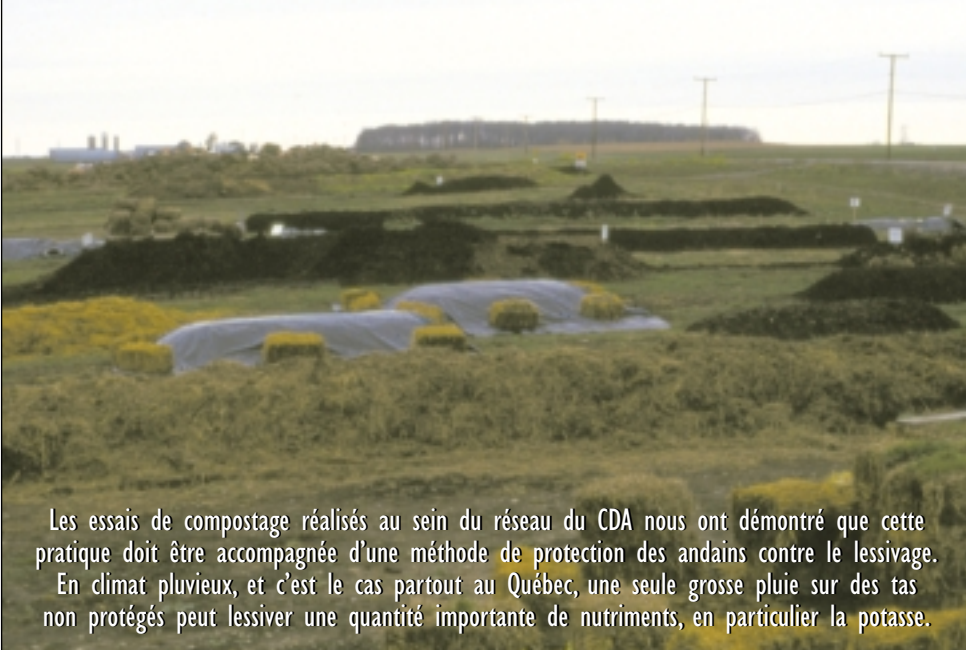
(2) Humifère fait référence à la possibilité de produire de la réserve organique, dont l'humus, dans le sol:

B = beaucoup, M = moyen, P = peu, N = n'en produit pas.

(3) Fermentable indique la tendance à se décomposer plus ou moins rapidement, tant dans le sol qu'au compostage:

R = rapidement, M = moyennement, L = lentement, TL = très lentement

* Ces données ne doivent pas être prises comme étant absolues. D'ailleurs dans ce tableau les variations possibles du rapport C/N en témoignent. Car même si elles proviennent d'analyses sérieuses, beaucoup de facteurs peuvent les faire varier. Citons entre autres pour les plantes, les variations selon les saisons, les types de sol, la fertilisation, les cultivars, les modes d'échantillonnage, les techniques d'analyse. Mais comme tout ne varie pas vers les extrêmes, ce tableau met quand même à notre disposition des données assez précises pour nous permettre d'évaluer assez bien notre situation. Toutefois, pour aller plus loin dans sa planification, chaque ferme devrait faire ses propres analyses de ce qu'elle utilise.



Les essais de compostage réalisés au sein du réseau du CDA nous ont démontré que cette pratique doit être accompagnée d'une méthode de protection des andains contre le lessivage. En climat pluvieux, et c'est le cas partout au Québec, une seule grosse pluie sur des tas non protégés peut lessiver une quantité importante de nutriments, en particulier la potasse.

6.2 COMPOSTS ET COMPOSTAGE

Le compostage des fumiers a été longtemps présenté comme une technique de base de l'agriculture biologique. C'était même présenté comme la solution à tous les problèmes de gestion des matières organiques. Or dans nos conditions de production, cela n'est pas toujours le cas.

Comme le fumier, le compost peut être humifère, amener des éléments fertilisants et nourrir les micro-organismes du sol. Mais tous les composts ne sont pas semblables et également efficaces pour remplir ces rôles.

Les vieux composts à base de matériaux ligneux pourront contribuer à former la réserve organique du sol, mais seront peu efficaces pour nourrir l'activité biologique du sol. De plus, s'ils sont très stables et très ligneux, leur rôle de fertilisant sera mitigé parce que :

- 1- ils ne libéreront leur azote que très lentement;
- 2- les matières ligneuses avec lesquelles ils sont produits (pailles, sciures, etc.) étant pauvre en minéraux, ils le sont eux-mêmes.

Pour leur part, les jeunes composts de fumier frais peuvent avoir à peu près le même impact que le fumier dont ils originent, c'est à dire ne pas être plus stabilisé qu'un fumier de ferme standard, stocké pendant quelques semaines.

Entre les extrêmes des composts humifères et des composts « nerveux », selon la composition du mélange et le stade de maturité, il y a toute une série de nuances. Mais dans tous les cas, il faut toujours se souvenir qu'un compost n'est jamais meilleur que les ingrédients qu'on y met.

En élevage, le fumier de la ferme peut se composter facilement et donner un produit de haute qualité.

Les raisons qui pourraient faire en sorte qu'on a besoin de composter sont :

- 1- détruire les graines de mauvaises herbes,
- 2- détruire les pathogènes.

Pour cela on peut réussir l'opération par un compostage très court, avec retournements en phase chaude. Un tel compost

jouera à peu de chose près le même rôle qu'un fumier stocké correctement, mais sans les mauvaises herbes.

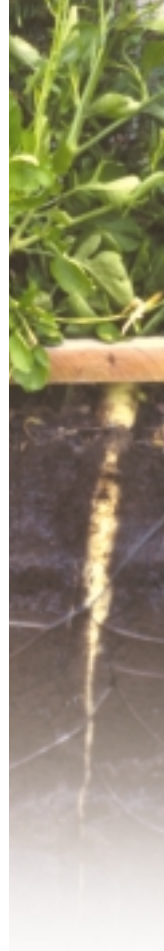
En élevage, il n'est habituellement pas utile d'acheter du compost. Dans le cas où une ferme d'élevage aurait besoin de compléter sa fertilisation, l'achat de fertilisants nerveux, (surtout fiente, purin et lisier) serait plus approprié, car les rotations à base de prairie qui y sont pratiquées laissent assez de résidus humifères au sol pour suffire au renouvellement de la réserve organique.

En grande culture sans élevage, si on ne dispose pas de fumier et que les rotations laissent peu de résidus humifères, l'utilisation de compost - soit acheté, soit produit à la ferme - pourrait être utile. Dans ce cas son rôle sera d'abord de maintenir un taux de matière organique adéquat dans les sols, en plus d'assainir la matière première. Il amènera aussi des éléments fertilisants, mais ces apports devront souvent être complétés par un « starter » organique.

Même si on composte à la ferme, on devra acheter une bonne partie des matières premières à l'extérieur. On les choisira dans le but de produire un compost assez jeune, qui pourra jouer à peu près le même rôle qu'un fumier frais.

Si on achète le compost, on aura ces mêmes exigences : des composts plutôt jeunes, avec un C/N à moins de 17, sans ou avec très peu de résidus ligneux comme structurant (éviter aiguilles, écorces et sciures de conifères).

Pour tout achat, il faudra vous assurer de respecter les normes de votre certification agrobiologique, particulièrement pour l'achat de compost dont vous ne connaissez pas la composition précise.



6.2.1 Quelques définitions

1) Compost nerveux:

Libère rapidement ses éléments, produit peu d'humus, mais peut produire une activité biologique intense. Seuls les mélanges de matériaux faciles à dégrader permettent un compostage rapide qui donne le compost nerveux. C'est parce qu'ils sont labiles qu'ils produisent peu d'humus et que dans le sol il génère une activité biologique importante, mais d'assez courte durée.

Parce qu'il manque de structure, la technique de compostage de ce type de mélange est difficile à maîtriser. Pour les produire, on vise un mélange à C/N inférieur à 20, plus souvent entre 16 et 17, voire moins. On peut par exemple utiliser des fumiers peu pailleux, des fanes de légumineuse, des fientes ou des mélanges d'herbes coupées jeunes, etc.

Pendant le compostage de ces matières, il peut y avoir volatilisation de l'azote, surtout si au départ le mélange est peu homogène et que les liquides ont mal imprégné les absorbants.

Pour ces types de composts qu'on veut nerveux, la durée du compostage doit toujours être courte. Un compostage long, en plus d'augmenter la volatilisation, diminuera la capacité à produire une activité biologique intense dans les sols où ces composts seront utilisés. Ce type de compostage est avant tout assainissant (graines de mauvaises herbes et pathogènes).

2) Compost moyen:

Bon générateur d'humus, il peut fournir une bonne intensité d'activité biologique. Ce type de compost libère ses éléments sur un plus long terme que le compost nerveux précédent, particulièrement l'azote dont une bonne part est « réorganisée » sous des formes organiques.

Pour les produire, on vise des C/N variant de 20 à 40 plus ou moins, dépendant de la forme dominante de carbone dans la matière organique des mélanges.

On utilisera par exemple, des fumiers pailleux, des mélanges de déchets verts et de feuilles mortes, de foin coupés assez mûrs, etc. Il y aura peu de volatilisation si le mélange est homogène dès le départ, bien humidifié et que les sources de carbone (absorbants, structurants) sont faciles à dégrader. En utilisant les techniques standards, le compostage de ces matériaux dure de un mois et demi à trois mois.

3) Compost humifère:

Très stable, il sert surtout à augmenter la réserve organique du sol. Justement parce qu'il est très stable, il ne produit pas d'activité biologique intense et libère l'azote sur le long terme. À cause de cela il ne peut pas produire d'effet « starter » et dans les climats frais, il ne peut pas servir à fertiliser des plantes qui ont besoin d'un départ rapide pour maintenir une bonne productivité: maïs, céréales de printemps, etc. Il peut toutefois être utilisé en climat chaud, sur des sols qui minéralisent rapidement et « brûlent » littéralement la matière organique.

Pour produire ce compost la mise en tas sera longue, de cinq mois à deux ans, plus ou moins selon les techniques employées et le type de mélange.

On utilise des mélanges à C/N de plus de 40, plus souvent entre 60 et 100, voire beaucoup plus. Ils peuvent contenir des matériaux ligneux: broussailles, mélanges à base de sciure de bois, fumiers avec litière de sciure de bois abondante, mélanges de copeaux de bois-lisier de porc, etc. Mais en agriculture ils sont le plus souvent à base de paille.

À partir du moment où l'imprégnation est bien faite et que le mélange est homogène, il y a très peu de pertes par volatilisation lors de ces compostages. Mais il y a une importante consommation de carbone par les micro-organismes, ce qui abaisse le C/N à un niveau acceptable pour éviter les blocages d'azote lors de l'utilisation.

Même si le compost est assez stabilisé pour ne pas provoquer de faim d'azote dans l'immédiat, sur le long terme, dans des conditions où son usage est contre-indiqué parce qu'il aura tendance à provoquer de l'accumulation excessive dans les sols, il entravera l'utilisation de l'azote par les plantes exigeantes et obligera à augmenter la fertilisation azotée pour maintenir des rendements et une qualité corrects.

4) Résidus humifères:

Résidus organiques carbonés (pailles de céréales, maïs, foin mûrs, sciures, etc.) qui permettent au sol de produire de la réserve et, le cas échéant, de l'humus.

5) Compostage long:

Comme son vis-à-vis «compostage court», c'est un terme ambigu qui fait référence tant à la durée qu'au degré de stabilisation du compost.

Même si on utilise des techniques de compostage semblables, cette durée ne sera pas la même pour les matériaux labiles, faciles à déstructurer et les matériaux coriaces, difficiles à décomposer, qui conservent bien leur structure. Pour les matières premières faciles à décomposer, les fumiers par exemple, les compostages de plus de six semaines peuvent être considérés comme longs. Pour un compost à base de matériaux coriaces, un compostage long durera au moins six mois, quelles que soient les techniques de compostage utilisées. En fait, pour un mélange à base de sciure ou de copeaux, la durée du compostage sera plutôt d'un an, voire de deux ans et plus.

On parle d'un processus de compostage long lorsque des matières organiques fraîches, peu abîmées sont profondément modifiées lors du compostage. Par exemple les fumiers seront devenus friables, ne dégageront plus d'odeur: on ne pourra y déceler ni odeur d'ammoniacque, ni odeur de pourriture. Les matériaux coriaces seront devenus plus friables, même si on reconnaît encore leur structure. Ils seront aussi devenus noirs et auront une odeur de sous-bois.

6) Compostage court:

Mise en tas de 10 jours à trois semaines pour les matériaux labiles, nourrissant une activité biologique intense, comme par exemple le fumier.

Pour les matériaux très coriaces comme les sciures, un compostage actif de moins de six mois peut être considéré comme court.

Quelle que soit la durée de la mise en tas, on peut parler de compostage court lorsque les matières premières n'ont que très peu évoluées pendant cette mise en tas. Par exemple, les fumiers conserveront quasiment le même aspect physique, dégageront encore une odeur d'ammoniacque, bref, auront toujours l'aspect d'un fumier. Les sciures seront toujours coriaces, avec la même structure et pratiquement les mêmes caractéristiques qu'au début du compostage.



6.2.2 EXEMPLES DE CALENDRIERS DE RETOURNEMENTS

Pour illustrer les possibilités d'établir un calendrier de retournements, nous donnons ici quelques exemples représentatifs. Bien sûr, il faut comprendre que ces exemples peuvent, voire doivent être modifiés, pour s'adapter aux besoins et contingences du compostage (et des composteurs).

Compostage court

Depuis la mise en tas, retournements aux jours 2, 5, 8, 11, ou aux jours 3, 6, 9 et 12; dans les deux cas, utilisables au jour 14.

Pour réussir ce type de compostage, il faut utiliser des mélanges de matières organiques facilement dégradables, ce qui veut dire à base de matériaux peu ligneux, à C/N plutôt bas (moins de 20), déjà bien imprégnés d'humidité, (ce qui implique souvent une phase rapide de « pré-compostage » sans production de chaleur). Les tas doivent de plus être assez volumineux pour produire suffisamment de chaleur et doivent être montés de préférence pendant la saison chaude. La température interne d'un tas doit se maintenir autour de 65-70 C°, si on veut assainir les matériaux en un aussi court laps de temps.

Avec cette approche, nous n'obtiendrons pas un compost « fait », stable, mais nous aurons un produit assaini, plutôt riche en azote ammoniacal, nerveux, plus fertilisant qu'amendement.

À condition de le bien protéger, on pourrait simplement laisser évoluer ce mélange, sans y toucher pendant 1 mois à 11/2 mois, pour obtenir un compost stable.

Compostage de durée moyenne

Depuis la mise en tas, retournements pendant la phase chaude et active, en début de fermentation, de préférence dans les 15 premiers jours et au moins deux fois, par exemple aux jours 7 et 14. On se rendra à trois fois si le mélange est peu homogène. Pour cela, on retournera aux jours 5, 10 et 15 ou encore aux jours 6, 12, 18. Utilisable à un ou deux mois, après une phase de maturation sans retournement. Cette phase sera d'autant plus longue que le mélange sera plus difficile à décomposer.

Comme on le voit, il peut y avoir plusieurs possibilités pour planifier un calendrier de retournements, ce qui permet de s'ajuster aux circonstances. L'important est d'intervenir en phase très chaude (thermophile), sans attendre une baisse de température. Il faut aussi retourner assez souvent pour s'assurer que toute la masse passe au coeur du tas.

Cette approche donnera un compost moyennement stable, inodore, contenant peu d'azote ammoniacal, encore actif, mais peu nerveux.

Avec ce même genre de mélange, on pourrait obtenir un compost encore plus stable, utilisable sur des cultures très sensibles à la matière organique fraîche (certains légumes, herbes aromatiques, etc.). Pour cela, on n'a qu'à le laisser en tas plus longtemps (3, 4, voire 6 mois). Si nécessaire, retourner encore au deuxième mois (troisième mois pour les compostages les plus longs) afin d'homogénéiser les mélanges qui deviendront sinon, trop hétérogènes, surtout en regard de l'humidité.

Compostage de longue durée

Depuis la mise en tas, deux retournements pendant la phase chaude et active, en début de fermentation (dans les deux ou trois premières semaines), par exemple aux jours 7 et 14. Si le mélange est peu homogène, on préférera trois retournements, soit aux jours 5, 10 et 15, ou encore aux jours 6, 12, 18.

Par un compostage long, on vise à obtenir un compost très stable à partir de mélanges s'apparentant à ceux utilisés pour les compostages de durée moyenne. On utilise les mêmes techniques, mais on laisse en tas plus longtemps. Inutile de retourner lorsque le mélange commence à se stabiliser, quand la phase chaude s'atténue, sauf pour homogénéiser au besoin, en fonction de l'évolution du taux d'humidité.

Dans ce type de compostage, on laisse en tas pendant 6 mois à un an.

Compostage de très longue durée.

Si le mélange est homogène, les retournements peuvent se faire une fois par mois depuis la mise en tas. Ce compostage en tas va durer un an ou deux, plus ou moins selon la nature du mélange et le C/N à atteindre. Mais plus le mélange est homogène et les matériaux structurés, moins les retournements ont besoin d'être fréquents. Dans plusieurs cas, après 4 ou 5 mois, on peut se contenter de retourner aux 2 mois, simplement pour maintenir le mélange homogène.

Cette approche est destinée spécifiquement aux matériaux ligneux, coriaces, souvent à C/N élevé (copeaux, sciures, « broyard » de broussailles, etc.) et qui restent longs à décomposer, même si on « supplémente » en azote. La durée du compostage sera d'autant plus longue que les matériaux sont moins broyés et que le C/N est plus élevé.

Inutile de retourner trop souvent, même en début de compostage : l'activité biologique n'est jamais très intense et les mélanges sont très structurés de sorte que l'aération passive suffit à maintenir l'activité biologique. La demande en oxygène est moins forte que pour les autres types de mélanges ; la production de chaleur est aussi moindre (moins de 60°C, plus souvent autour de 45°C, 50°C), mais elle dure plus longtemps, au moins six mois pour les mélanges les moins coriaces, voire un an ou deux pour les mélanges de broussailles broyées et les gros copeaux.

On surveillera l'évolution du taux d'humidité et on humidifiera le mélange au besoin pendant le compostage.

Si la durée du compostage est assez longue, on obtiendra un compost très stable, très peu actif, pratiquement sans azote ammoniacal, qui ne peut ni « brûler » les plantes, ni causer de « faim » d'azote, mais dont la minéralisation est tellement longue qu'il n'est pas un fertilisant efficace. Ces composts peuvent être utilisés surtout en horticulture pour maintenir ou augmenter la réserve organique du sol, ou comme base de mélanges pour les cultures en contenants.

En grande culture, surtout sur des sols d'origine hydromorphe, on pourrait aussi utiliser ces composts en petite quantité pour maintenir la réserve organique lorsque les rotations laissent trop peu de résidus au sol, ou pour refaire graduellement cette réserve organique là où c'est nécessaire. Toutefois ils ne pourront jamais être la base d'une fertilisation efficace : ils ne devront être utilisés qu'en complément à une fertilisation plus nerveuse.



En une heure ou deux, un retourneur structure et homogénéise plusieurs centaines de tonnes de mélanges à compost. Cette rapidité permet des interventions bien ciblées, quand ça compte.

7 LA ROTATION DES CULTURES: AU CŒUR DE LA STRATÉGIE DE FERTILISATION

Une rotation des cultures bien planifiée est une composante importante des systèmes de production biologique et s'avère un élément clé pour assurer une gestion optimale des nutriments. En bref, la rotation des cultures doit chercher à :

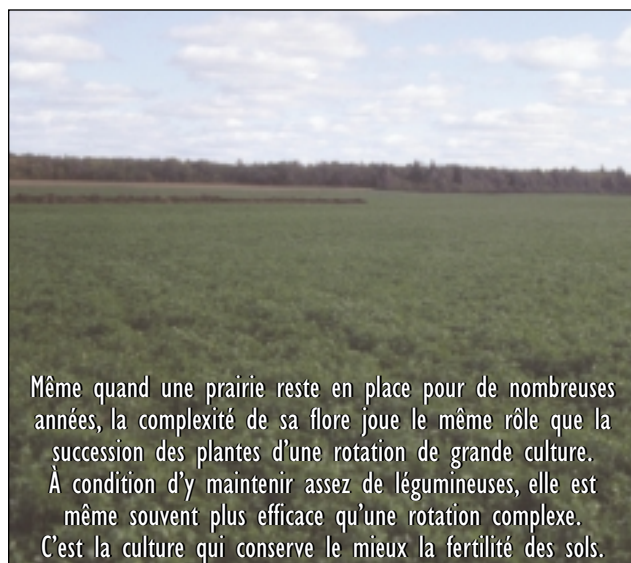
- Favoriser le recyclage et la mise en disponibilité des nutriments provenant des résidus laissés par les cultures précédentes;
- Importer de l'azote nouveau sur la ferme par l'implantation de légumineuses, fixatrices d'azote symbiotique;
- Protéger les sols et assurer un recyclage optimal des reliquats nutritifs, évitant le lessivage en saison morte (Voir *Saviez-vous que ?*, page 13);
- Entretenir le « turn-over » des matières organiques (Voir section 4.4).

En pratique, la rotation des cultures est construite de manière à faciliter l'intégration des pratiques liées à la stratégie de fertilisation. Voici quelques indications les plus importantes :

- Intégrer suffisamment de cultures de légumineuses pour produire sur la ferme tous les besoins d'azote;
- Disposer les cultures plus exigeantes derrière la légumineuse de manière à recycler au mieux l'azote mis en disponibilité;

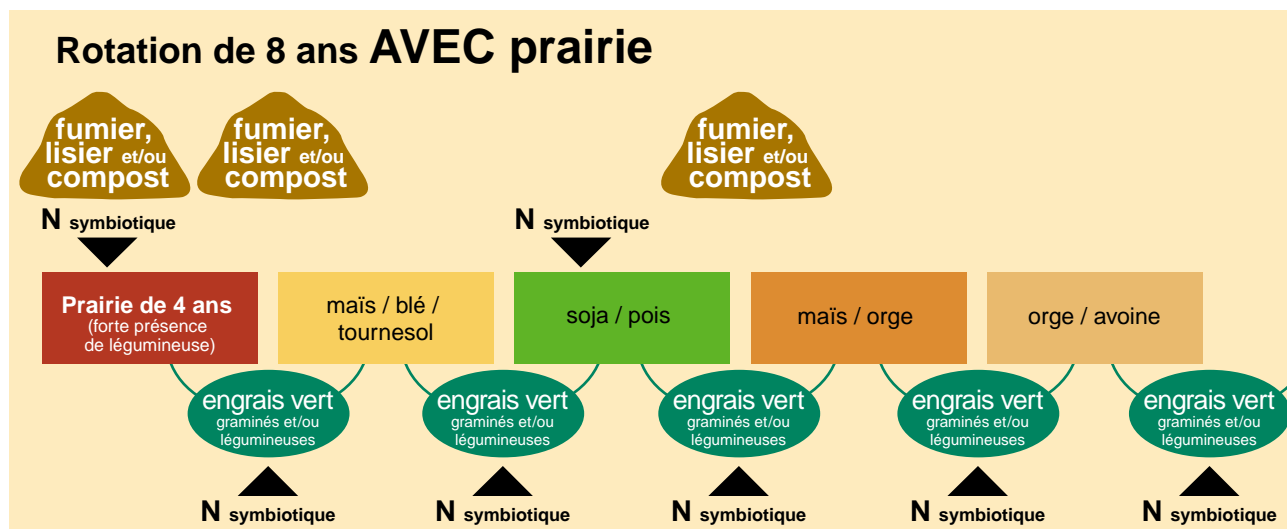
- Offrir les conditions optimales pour l'épandage des fumiers de manière à maximiser le recyclage des nutriments;
- Introduire les engrais vert (en dérobée, associés, intercalaires), de manière à maintenir tout au cours de la saison une couverture végétale et une exploration par les racines des plantes du profil des sols de la ferme, ce qui diminue l'érosion et le lessivage, et favorise une structure et une activité biologique optimale;
- Alternier les cultures à développement racinaire profond et superficiel;
- Lorsque possible, alterner les semis de printemps et d'automne, de manière à distribuer les charges de travaux et faciliter l'intégration des pratiques de gestion des sols (travail du sol et chaulage);
- Faciliter la gestion des mauvaises herbes, combinant successivement des plantes sarclées avec des plantes en pleine planche, des plantes compétitives avec des plantes moins compétitives, etc.

Dans les systèmes de grandes cultures, pour des contraintes économiques, on est parfois porté à simplifier la rotation des cultures à deux ou trois espèces. Une telle réalité, bien que fonctionnelle sur quelques années, devient à moyen terme difficile à soutenir en mode agroécologique. La diversification des espèces dans le temps et l'espace doit être encouragée, si ce n'est parmi les cultures principales, à tout le moins par la multiplication de cultures intercalaires dans la rotation.



7.1 LES SYSTÈMES DE CULTURES AVEC PRAIRIE

Figure 6 - Quelques scénarios d'intégration des pratiques de fertilisation à la rotation des cultures avec prairie.



L'importance du rôle joué par la prairie dans l'organisation des cultures et son impact sur le fonctionnement du sol justifient une analyse de la pratique de la rotation des cultures en fonction de sa présence, ou non, sur la ferme.

La ferme avec un élevage de ruminants (bovin laitier ou de boucherie, mouton, chèvre), ou de chevaux intègre normalement la prairie dans son système de culture. La prairie de foin dans la rotation est un atout important du producteur biologique dans l'élaboration d'un plan de fertilisation. L'établissement d'une prairie pour une période temporaire de 3 à 5 ans permet de casser une séquence continue de cultures annuelles. Cette situation facilite plusieurs aspects de la régie des cultures, tant en terme de fertilisation que de structuration des sols, de gestion des mauvaises herbes et d'organisation des travaux.

Les cultures exigeantes précédées dans la rotation d'une prairie sont relativement assurées d'une bonne productivité, en autant que :

- La présence de légumineuses est encore importante dans le mélange fourrager au moment de l'enfouissement (plus de 30%).
- Son enfouissement est fait de manière à favoriser au mieux la mise en disponibilité de l'azote tôt en saison, surtout si une culture de maïs ou de blé suit (Voir section 9);
- Les conditions de sol sont adéquates, sans quoi le potentiel de fertilité est peu profitable à la culture suivante (Voir section 4.1);

Les superficies de prairie cultivées sont normalement déterminées en fonction des besoins du troupeau. Les autres cultures sont distribuées par la suite dans une séquence qui varie mais dont les critères suivant peuvent servir de guide :

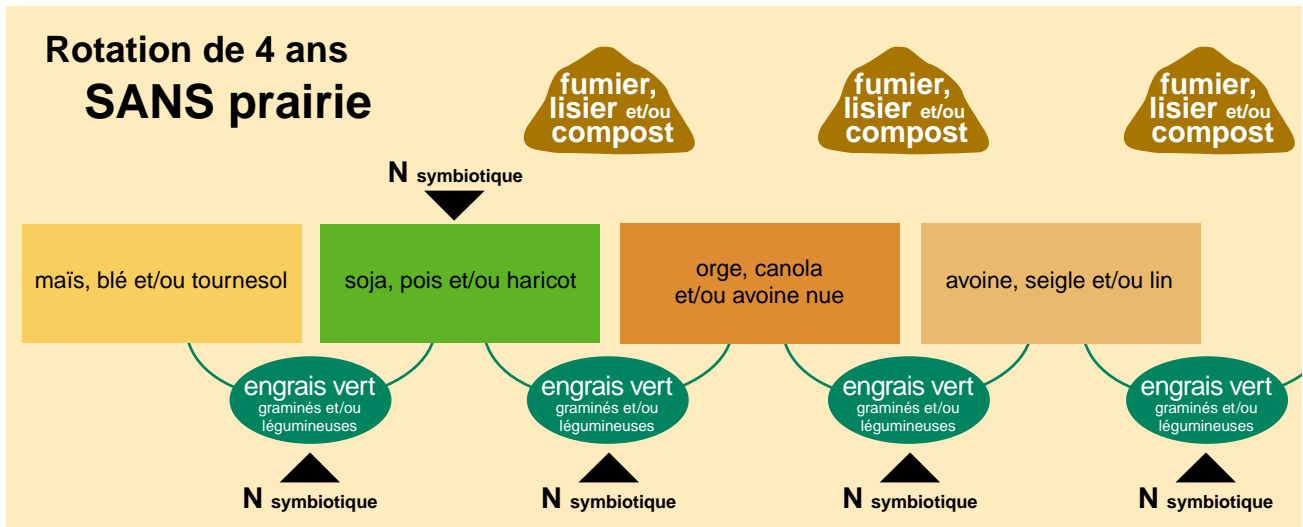
- La culture la plus exigeante devrait être en tête de rotation, i.e. suivre l'enfouissement de la prairie.
- Une culture moins exigeante, ou une légumineuse devrait se retrouver en deuxième année de rotation.
- Si la seconde culture fut une légumineuse, il est possible de revenir avec une culture relativement exigeante en troisième année. Selon le choix de culture, elle pourrait nécessiter un apport de fumier. Une légumineuse devrait être réintroduite en troisième année, si les deux précédentes n'en comptaient pas.
- Plus on s'éloigne de la prairie, plus la légumineuse devrait être cultivée en alternance avec une autre espèce, graminée, oléagineuse, ou autres.
- Plus on s'éloigne de la prairie, plus les exigences devraient être moindres que la culture placée en tête de rotation (une petite céréale plutôt qu'un maïs).

Pour plus de détails et des exemples possibles de rotation des cultures, se référer au Guide de transition à l'agriculture biologique de la FABQ.

L'utilisation de fumiers ou de lisiers, normalement présents sur une ferme qui cultive des prairies, contribuent à la stratégie de fertilisation et influencent donc beaucoup l'organisation des cultures (Figure 6).

7.2 LES SYSTÈMES DE CULTURES SANS PRAIRIE

Figure 7 - Quelques scénarios d'intégration des pratiques de fertilisation à la rotation des cultures sans prairie.



Les systèmes de cultures biologique sans prairie sont un peu plus délicats à conduire, mais ne sont pas impossibles. L'accès ou non à du fumier, qu'il soit produit sur la ferme ou introduit de l'extérieur, influence beaucoup l'organisation d'un système de cultures essentiellement composé de plantes annuelles.

Avec fumier

L'absence de prairie dans la rotation peut dans une certaine mesure être compensée par l'utilisation de fumier couplé à une présence accrue de l'engrais vert (Figure 7). Certains critères peuvent être gardés à l'esprit pour faciliter l'organisation des cultures dans une telle situation.

- En remplacement de la prairie comme précédent à la culture exigeante de la rotation, il est important d'agencer engrais vert et fumier.
- L'utilisation des fumiers est rendu plus flexible par l'introduction fréquente d'engrais verts, qui permettront des « fenêtres plus larges » d'épandage avec un recyclage optimum des nutriments.
- Les légumineuses sont importantes dans la rotation. Elles permettent d'introduire une grande part de l'azote nécessaire au fonctionnement de la ferme, évitant de l'importer par l'apport de grandes quantités de fumiers, ce qui aurait pour conséquence l'accumulation en excès du phosphore et de la potasse (Voir *Saviez-vous que ?*, page 9).

- Au moins à une reprise dans la rotation, un mélange légumineuses-graminées est utilisé comme engrais vert. Il devrait être en croissance pour une période minimale de 2 à 3 mois, le temps nécessaire au système racinaire de bien explorer le sol et sous-sol. Il peut être ensencé sous une céréale ou derrière un soja hâtif, ce qui lui donne suffisamment de temps de croissance entre la mi-août/mi-septembre et la fin octobre.
- Le choix des fumiers, s'il y a lieu, doit considérer dans certaines occasions la nécessité d'un effet « starter » ou en d'autres occasions, l'effet humifère, et ce en fonction de la rotation des cultures (Voir section 6).

Sans fumier

Un système de culture en régie biologique qui n'utilise ni prairie dans sa rotation, ni fumier, purin, ou lisier dépend presque essentiellement de la contribution des légumineuses pour se maintenir productif. Un certain nombre de critères doivent être scrupuleusement suivis :

- Le choix des cultures est plus limité : les cultures très exigeantes en azote, telles le maïs, doivent être évitées, les légumineuses (soja, haricot, pois, etc.) doivent être intégrées le plus souvent possible (éviter les problèmes sanitaire).

- La culture d'engrais vert de légumineuses est l'élément clé. Elle est introduite pour être enfouie en fin de saison, en culture associée, ou en culture principale. Elle peut être accompagnée de graminées, de crucifères et/ou d'autres espèces. Les mélanges incluent principalement des légumineuses, d'autant plus que les cultures principales n'en sont pas.
- Selon les exigences des exportations et l'état des cultures, il peut s'avérer nécessaire de garder plus ou moins 20 à 30 % des superficies en jachère (repos), ensemencée d'un engrais vert de légumineuse(s)-graminée(s) qui serait enfoui en fin de saison. Cette pratique permet de compléter la fixation de N par les légumineuses lorsqu'elles sont insuffisantes dans la rotation, d'intervenir pour restructurer les sols, de diminuer la concurrence des adventices et de relancer une activité biologique déficiente.
- Souvent les bilans de ferme de ces entreprises sont fortement négatifs. Les conditions de sol doivent être en tout lieu et en tout moment optimales, sans quoi les rendements seront affectés. Un suivi pointu du fonctionnement des sols est crucial.
- Sans aucun fumier de ferme, la fertilisation doit souvent être complétée par des engrais minéraux (Voir section 8) et par des engrais organiques du commerce, particulièrement du compost (Voir section 6.2). Les apports minéraux complètent les besoins de fertilisation et les apports organiques serviront à entretenir la réserve du sol.

8 LES APPORTS MINÉRAUX

Dans tout système de production agricole les apports de minéraux sont relativement coûteux. Aussi essaie-t-on de les limiter au minimum, sans toutefois hypothéquer la productivité. On peut les éviter dans tout système de production, avec ou sans animaux, qui importe de l'extérieur suffisamment de nutriments d'origine organique (fumier, litière, compost, aliments et autres). C'est le cas pour la majorité des fermes.

Toutefois dans les cas des fermes sans élevage et sans fumier, il est probable que l'on doive compléter la fertilisation phosphatée et/ou potassique. Le bilan nutritif de la ferme, couplé à des observations rigoureuses du producteur, sont les meilleures façons d'en évaluer la nécessité (Voir section 11). S'il y a lieu, on utilise pour P les phosphates naturels et pour K les sulfates de potassium et/ou les doubles sulfates de potassium et magnésium (Voir section 3.3).

Pour le phosphate naturel, où P est peu soluble :

- Doser les apports en fonction des besoins à court terme des cultures, sans viser à accumuler une réserve de P dans le sol.
- Fractionner les apports sur une base annuelle, ou à la limite bisannuelle.
- À chaque fois qu'on veut produire des plantes exigeantes en P, prévoir l'épandage la saison avant la mise en culture, sur un engrais vert de fin de saison par exemple.
- Pour mieux doser et planifier les épandages et ainsi avoir plus de précision, éviter de mélanger les phosphates insolubles au compost. C'est l'activité biologique du sol, et non celle du compost, qui doit permettre la solubilisation de P. Si vous avez bien planifié les épandages et que malgré tout il y a un problème de disponibilité de P sur certaines parcelles, c'est que soit l'activité biologique du sol est faible, soit qu'il y a blocage de P. Dans un cas ou dans l'autre, il vaut mieux corriger le problème que d'essayer de le contourner.

Pour les sulfates de potassium, où K est soluble :

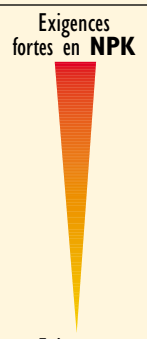
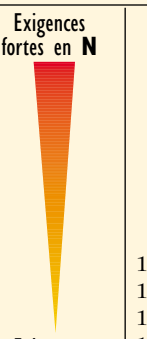
- Fractionner les apports sur une base annuelle, car il est peu probable que vos sols puissent accumuler des réserves importantes de K soluble sans pertes importantes.
- Éviter les épandages d'automne sur sol nu.
- Faire les apports au semis, ou encore la saison précédant le semis sur un engrais vert d'automne en croissance.

9 L'AZOTE ORGANIQUE POUR LE DÉMARRAGE DES CULTURES

En agrobiologie, une difficulté fréquemment rencontrée est celle de la mise en disponibilité de l'azote en début de saison, alors que le climat est froid et les sols sont humides. La question est souvent posée par les agrobiologistes : « *Comment combler tôt en début de saison les besoins d'azote d'une culture exigeante à partir des fertilisants disponibles sur la ferme, sans pour autant devoir appliquer des surdoses d'engrais organiques ?* »

Avant de répondre à cette question, il importe dans un premier temps de différencier les exigences d'une plante en terme de besoins globaux pour une saison de culture et des besoins en départ de végétation au printemps. Les tableaux comparatifs suivants (Tableau 5) nous montrent que, sous notre climat tempéré-froid, ce ne sont pas toujours les plantes les plus exigeantes qui ont la plus grande demande de nutriments tôt au printemps. Par exemple les foin, bien que forts exportateurs, sont composés d'une flore bien adaptée à nos conditions climatiques et démarrent bien, même par temps frais.

Tableau 5 - Exigences des cultures en fonction de leurs besoins d'azote en départ de végétation et leurs besoins globaux au cours d'une saison de croissance.

Besoins en N-P-K pour toute la saison		Besoins en N en départ de végétation	
	Exigences fortes en NPK		Exigences fortes en N
	1) maïs		1) maïs
	2) graminées de prairie		2) tournesol
	3) légumineuses de prairie		3) blé
	4) blé		4) orge
	5) canola		5) avoine
	6) grains mélangés		6) seigle
	7) soya		7) grains mélangés
	8) tournesol		8) graminées de prairie
	9) orge		9) canola
	10) seigle		10) soya
	11) avoine		11) légumineuses de prairie
	12) haricot		12) haricot
	13) pois		13) pois
	14) sarrasin		14) sarrasin
Exigences faibles en NPK		Exigences faibles en N	

Dans la colonne de droite, tout ce qui suit « grains mélangés » peut être considéré comme peu exigeant en départ de végétation. Souvent les agrobiologistes considèrent que les petites céréales, surtout orge, avoine et seigle, ne sont pas exigeantes en début de croissance. C'est vrai pour les semis tardifs sur sols réchauffés, mais ce ne l'est pas pour les semis très hâtifs sur sols froids. Or la tendance au Québec est aux semis hâtifs pour une majorité de cultures. Les

mauvaises années, dans des conditions adverses, il se pourrait même que les cultures de graminées de prairie et de canola (8 et 9) profitent d'un petit apport de N soluble en début de croissance.

Dans la colonne de gauche, l'ordre par exigence est relative et peut varier selon les cultivars. Mais cette liste donne quand même une idée assez réaliste pour constater la différence entre les exigences d'une plante en départ de végétation et celles pour l'ensemble de la saison.

La synchronisation entre les besoins en azote des plantes en départ de végétation et la mise en disponibilité de l'azote organique du sol revêt donc une importance capitale. Dans notre planification de la fertilisation en agrobiologie, on doit adapter nos pratiques à ces conditions climatiques de début de printemps.

D'autant plus que cette synchronisation peut aussi aider à rendre disponible d'autres nutriments. Le phosphore entre autres, qui est parfois déficient dans les plantes lors de printemps froids. Une carence de phosphore observée tôt en saison sur une plante sensible (le maïs par exemple) peut souvent s'expliquer par à un manque d'azote pour la plante. À cause d'une insuffisance en azote, le plant n'a pas la vigueur nécessaire pour développer un système racinaire puissant et puiser dans le sol le phosphore pourtant disponible en quantité suffisante, mais peu mobile.

Ajuster la fertilisation en fonction des cultures exigeantes de début de saison

Au printemps sur les sols froids qui minéralisent peu, il vaut mieux pour les cultures exigeantes en azote en départ de végétation, utiliser les ferti-

lisants les plus nerveux, aptes à servir de « starter » (Tableau 6).

- Si ces fertilisants nerveux ne sont pas les seuls à être utilisés, il faudra doser leurs apports uniquement en fonction des besoins de départ des plantes au printemps. Selon l'état du sol et le type de cultures, ces apports varieront de 5 kg à 25 kg N/ha. On évaluera ces quantités en fonction de la disponibilité de N dans le fertilisant utilisé.

- Pour la ferme d'élevage avec prairie, ou pour les rotations en grandes cultures qui laissent beaucoup de résidus au sol, les apports peuvent être plus importants. Ils peuvent même être dosés de manière à être les seuls fertilisants apportés pour combler tous les besoins de la culture.
- Dans les rotations de grande culture, si les résidus au champ sont trop peu abondants pour entretenir la réserve organique du sol, ces apports seront limités pour ne servir que de « starter ». La fertilisation devra alors être complétée par l'utilisation soit de fumiers, soit de composts jeunes, afin de maintenir le stock d'humus. Car si la réserve organique du sol est faible, le « pic » de minéralisation peut s'achever avant la fin de la croissance de la plante.

Tableau 6 - % de disponibilité de l'azote sur sol froid selon divers engrais organiques

Type d'engrais de ferme	% de disponibilité de N ¹
Compost ligneux	2-3 %
Compost jeune, à faible C/N	5%
Fumier de bovins (litière)	10-15 %
Fumier de porc (litière)	10-15 %
Lisier de bovins	50 %
Lisier de porc	50-70 %
Fientes de volailles	60-80 %

¹ Ces valeurs ne sont qu'indicatrices. Pour les lisiers et les purins, la fraction d'azote disponible peut varier en fonction de l'alimentation des bêtes, la durée et le mode d'entreposage. Pour les composts, ces valeurs peuvent varier en fonction du C/N de départ, de la durée du compostage et des techniques utilisées.

Les engrais organiques qui peuvent servir de « starter » au printemps

Le tableau 7 indique la capacité des fertilisants organiques à libérer rapidement leurs nutriments, surtout l'azote, en début de saison, sur sols froids. Il ne fait pas référence à la richesse en nutriments. Aussi les doses d'apports devront être quantifiées en fonction des analyses du produit utilisé.

Tableau 7 - Vitesse de mise en disponibilité de N organique en fonction de diverses sources d'engrais de ferme.

Type d'engrais organique	Vitesse de mise en disponibilité de N
purin de porc	+++
Fientes de volailles	+++
purin de vache	+++
lisier de porc	+++
lisier de vache	+++
fumiers de volailles (toutes litières)	++
fumiers pailleux (tous, sauf volailles) + engrais verts jeunes	++
fumiers pailleux (tous, sauf volailles)	+

+++ Ces fertilisants sont tous capables de jouer ce rôle, mais ils sont placés par ordre décroissant d'efficacité, en fonction de leur rapidité d'action. Même le lisier de vache, en quantité suffisante, peut donner des résultats satisfaisants. Dans notre climat, tous ces fertilisants, à condition de bien calculer les besoins des plantes, ont un effet « starter » très efficace.

++ Les fumiers de volailles contiennent généralement peu de litière. De plus leur richesse en azote leur permet d'en rendre rapidement disponible une part suffisante pour permettre de bons départs de végétation. Les autres fumiers peu pailleux, s'ils sont associés à un engrais vert détruit très jeune, peuvent aussi certaines années atteindre une bonne efficacité. Leur action sur sols froids est toutefois moins régulière que pour le premier groupe.

+ Selon les années, lorsque le réchauffement est rapide et sans à-coups, les fumiers peu pailleux peuvent parfois arriver à jouer ce rôle. Mais les résultats sont toujours incertains.

On peut améliorer l'efficacité de tous les « starters » :

- en les épandant sur des parcelles où il y a eu un précédent d'engrais vert qu'on a détruit très jeune;
- en les utilisant sur des parcelles où il y a peu de résidus organiques à décomposer, entre autres les « couennes » de labour;
- en choisissant des parcelles aux sols bien structurés et aérés, très bien drainés, se réchauffant rapidement.

Toutes ces pratiques ont des effets cumulatifs qui s'additionnent pour améliorer les départs de végétation au printemps, et cela quel que soit le « starter » qu'on utilise.

Plusieurs suppléments azotés organiques du commerce (farines de viande, de plume, de sang séché, tourteaux, etc.) peuvent aussi jouer très efficacement ce rôle. Mais leur coût très élevé ne permet pas leur utilisation en grandes cultures et en élevage.



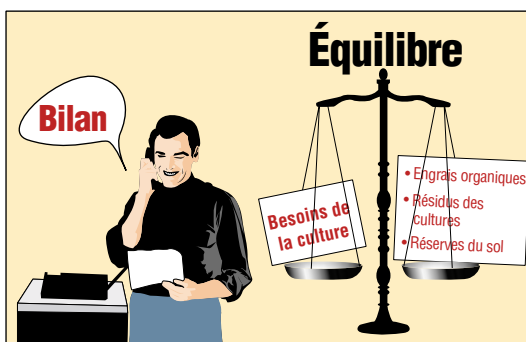
10 PLANIFIER LA FERTILISATION DE MANIÈRE À OPTIMISER LA GESTION DES NUTRIMENTS

Si dans la pratique, les besoins des différentes cultures sont assez bien connus des producteurs, il est beaucoup plus difficile d'évaluer la quantité des éléments nutritifs qui seront mis en disponibilité par le sol, par les résidus des cultures, par les fumiers ou autres engrais organiques apportés. En d'autres termes, établir les plans de fertilisation de manière à fournir suffisamment de nutriments aux cultures, sans en apporter trop, demeure le défi de la stratégie de fertilisation des cultures en bio.

10.1 FERTILISER EN FONCTION DE CALCULS PRÉCIS

C'est justement dans l'idée de relever ce défi que s'effectue toute une série de calculs de fertilisation. Ces calculs, parfois fort complexes, tentent d'évaluer champ par champ les éléments nutritifs rendus disponibles selon chacune des sources potentielles :

minéralisation des réserves organiques du sol, recyclage des résidus de culture, apport par les engrais organiques, disponibilité des nutriments apportés, altération des réserves minérales du sol, etc.



Mais quelles données utiliser pour faire de telles estimations ? Pour être le moins précis, il faudrait considérer l'ensemble des facteurs qui influencent la mise en disponibilité des éléments nutritifs : météo, type de sol et minéralogie, quantité et qualité de la matière organique, fraîche

ou humifiée, intensité de l'activité biologique, état physico-chimique du sol, pratiques culturales, développement racinaire de la culture, etc. Ces évaluations sont excessivement complexes et par conséquent les sources d'erreur nombreuses (Tableau 8). Au point où il faut éviter de tenir pour absolu les résultats de tels calculs. Bien que les chiffres soient très instructifs pour une première compréhension et pour analyser des situations différentes d'une parcelle à l'autre, cet exercice ne peut pas être utilisé pour prescrire un plan de fertilisation annuel.

Tableau 8 - Estimation des besoins en azote d'une culture de maïs : antécédent de prairie, amendé à l'automne de fumier et suivi d'un engrais vert de crucifère.

LES BESOINS D'AZOTE	Rendement espéré : 8,5 tonnes/ha	Besoins d'azote : 180 kg/ha
LES APPORTS D'AZOTE	Notes	Estimation de l'apport de N/ha
30 tonnes de fumier de bovins à l'hectare	<ul style="list-style-type: none"> Contenu de N estimé à 5,8 kg/t. Estimation de 20 à 40 % de perte Disponibilité de 30 à 50 % dans les deux années en cours (automne- été) 	30 à 70
Fumure antérieure	<ul style="list-style-type: none"> Apport de fumier sur prairie durant les années précédentes 	5 à 40
Antécédent engrais vert d'automne	<ul style="list-style-type: none"> Estimation de 3,5 t. de M.S. de biomasse/ha à environ 3 % de N Estimation de 30 à 70 % de disponibilité 	30 à 75
Antécédent prairie	<ul style="list-style-type: none"> Estimation très variable dans la littérature 	30 à 120
Minéralisation des matières organiques du sol (4,5 % de M.O.)	<ul style="list-style-type: none"> Estimation de 0,5 à 3 % de taux de minéralisation Estimation de 2 à 7 % du contenu en N de la M.O. 	10 à 110
Total des apports de N		105 à 415
Différence entre les besoins et les apports estimés		Variation entre -75 et +235

Utilité et limite des calculs de fertilisation

Sans vouloir en dénigrer l'utilité, l'exemple précédent montre bien les risques d'erreur inhérents aux calculs de fertilisation. L'utilisation de calculs demeure tout de même un outil utile pour tenter de donner des balises à notre stratégie d'action et d'établir en fonction de diverses situations les apports de fertilisants nécessaires. Il est toutefois important de tracer les limites de ce type de calcul et l'ampleur des erreurs possibles.

Utilité des calculs	Limites des calculs
<ul style="list-style-type: none">• Réfléchir des doses de fumier à appliquer en fonction de la teneur en nutriments des fumiers utilisés et selon les besoins des cultures ciblées.• Favoriser la distribution des fumiers sur les superficies en culture de la ferme et en fonction des besoins les plus importants.• Ramener les applications de fumier à des doses qui relèvent un peu plus du gros bon sens (i.e. entre 10 et 30 tonnes/hectare) de manière à éviter les situations graves de pollution organique.	<ul style="list-style-type: none">• Tenter d'estimer avec précisions des processus trop complexes et imprévisibles.• Appliqués bêtement, sans un suivi rigoureux des cultures sur le terrain, ces calculs peuvent engendrer et maintenir des situations de sous-utilisation ou de sur-utilisation de fumier.

Puis, à trop mettre d'énergie sur des calculs, on en investit nécessairement moins à suivre et à évaluer l'ensemble du système de production : le fonctionnement du sol, le comportement des plantes, l'organisation de la rotation, l'impact des légumineuses, etc..

10.2 L'ART DE LA FERTILISATION : EXPÉRIMENTER, OBSERVER ET CORRIGER !

On oublie trop souvent que l'agriculture est un art. L'art d'organiser, de combiner et de valoriser toutes les composantes de la ferme : le soleil, l'eau, l'air, le sol, les plantes, les animaux et le travail humain. Dans cet esprit, la fertilisation des cultures ne peut et ne doit pas reposer essentiellement sur des calculs, fussent-ils les plus précis possibles, mais bien plus sur une démarche rigoureuse d'observation et de calibrage des informations cumulées depuis quelques années (voire des décennies) par le producteur sur sa ferme.

La nécessité d'un suivi terrain (plante-sol) est incontournable, parce que en bout de ligne, c'est la plante qui donnera raison ou non à nos pratiques de fertilisation. C'est en effet à elle que sont destinés tous nos efforts de planification et nos interventions. En ce sens, on a beau dessiner, calculer, élaborer toute une stratégie d'intervention la plus complexe soit-elle, si la plante ne répond pas, si la culture ne rend pas, c'est que notre travail demeure imparfait.

L'effort est donc à l'observation et à l'expérimentation sur la ferme afin de permettre au producteur de s'approprier son système de production. Appuyée sur des outils techniques de suivi : le bilan nutritif de ferme, une bonne connaissance du potentiel des divers types de sol de la ferme et un suivi du comportement des cultures dans les parcelles (Voir section 11), une régie de fertilisation optimale se construit champs par champs, culture par culture. Ajustée à l'aide de petits essais au champ et par une compilation simple de données, elle se précise et se raffine avec les années. Si dans cette approche les calculs de fertilisation sont simplifiés, les observations du producteur et sa compréhension du fonctionnement des composantes sol-plante sur sa ferme sont beaucoup plus rigoureuses et efficacement mises à profit.

11 ÉVALUATION ET SUIVI DES PRATIQUES DE FERTILISATION

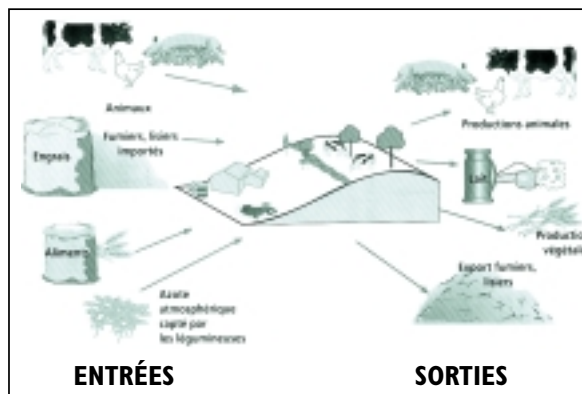
Pour bien suivre l'efficacité de ses pratiques de fertilisation, l'agriculteur a besoin d'un bon tableau de bord. Celui-ci doit offrir plusieurs indicateurs du bon fonctionnement de la ferme. Une première série d'outils doit permettre d'évaluer le fonctionnement du sol et de la plante : observations de profils dans les parcelles, analyses de sol et suivi du comportement de la plante en cours de croissance, jusqu'au rendement des cultures. Mais chaque parcelle cultivée faisant partie d'un tout, une évaluation globale du fonctionnement de la ferme est cruciale pour mieux interpréter les informations recueillies au niveau des parcelles.

Les outils d'évaluation et de suivi présentés ici sont déjà utilisés, en partie ou en entier, sur le terrain. Ils permettent au producteur biologique de se calibrer, par rapport au potentiel de ses sols, à sa situation géographique (climat) et à ses techniques culturales.

11.1 LE BILAN NUTRITIF DE LA FERME

Le bilan nutritif évalue le fonctionnement du cycle des éléments nutritifs à la ferme. Toute stratégie de fertilisation doit reposer sur cette première évaluation. L'outil permet à l'agriculteur de prendre un certain recul et d'étudier le fonctionnement de sa ferme non pas par une analyse champ par champ, mais plutôt par une évaluation de l'ensemble du système. Cette étape est cruciale pour l'évaluation des pratiques de fertilisation des sols et des plantes. Toute stratégie de fertilisation développée sur une ferme dont le bilan nutritif est excédentaire est inappropriée.

Figure 8 -
Le bilan des éléments nutritifs à la ferme



Adapté de l'Institut de l'Élevage, 1999

Un bilan nutritif est construit à la manière d'un bilan financier. À la fin de l'année, au lieu d'inscrire les revenus et dépenses de l'entreprise, on enregistre toutes les entrées et les sorties d'éléments nutritifs (Figure 8).

Les informations relatives aux entrées et sorties de la ferme peuvent être facilement extraites des documents comptables. S'y ajoute la fixation d'azote par les légumineuses. Cette dernière donnée est la seule qui soit calculée par l'agriculteur à partir d'une estimation effectuée selon l'espèce(s) de légumineuse présente(s), son importance dans la parcelle (en semis pur ou en mélange), et la superficie cultivée (Tableau 1). Les mouvements internes de la ferme - les récoltes autoconsommées, les fumiers produits et épandus sur la ferme, les résidus de culture laissés aux champs, etc.- ne sont pas pris en compte.

On obtient la valeur des différents postes d'entrée et de sortie en multipliant la quantité de chaque produit entrant et sortant de la ferme par sa teneur en N,

P_2O_5 et K_2O . Le bilan nutritif est obtenu par la différence entre les éléments nutritifs importés (entrées) et les éléments nutritifs exportés (sorties) de la ferme. Pour faciliter son interprétation, le bilan est réparti sur l'ensemble des surfaces en culture sur la ferme. Il s'exprime ainsi en kilogrammes d'azote, de phosphate et de potasse à l'hectare (Tableau 9).

TABLEAU 9 - Exemple d'un bilan nutritif d'une ferme laitière en agrobiologie

Description sommaire de la ferme		<ul style="list-style-type: none"> • 35 vaches • 30 têtes de relève • 73 hectares en culture 		
LES ENTRÉES (en kg)		<ul style="list-style-type: none"> • Production : 290 000 kg de lait/an • Productivité : 8 300 kg/vache 		
Aliments achetés		N	P₂O₅	K₂O
• Foin sec (30 ton.)		502	132	555
• Grains mêlés (30 ton.)		648	223	176
• 6 tonnes de supplément protéique		396	204	71
• Minéraux - 3,5 tonnes de P-9		0	716	31
Paille - 56 tonnes		278	68	883
Azote symbiotique (45 hectares)		4338	0	0
		6162	1343	1716
LES SORTIES (en kg)		N	P₂O₅	K₂O
Vente de lait - 290 000 litres		1479	609	522
Vente d'animaux (7.6 tonnes)		225	139	18
		1704	748	540
BILAN ENTRÉES - SORTIES (en kg)		4458	595	1176
Bilan réparti sur 73 hectares de terre cultivée (en kg/ha)		+ 61	+ 8	+ 16

11.1.1 POURQUOI ÉVALUER LE BILAN NUTRITIF DE MA FERME?

- ***Pour juger de l'efficacité de mon entreprise***

Le bilan minéral permet de visualiser rapidement l'efficacité avec laquelle sont recyclés sur la ferme les éléments nutritifs. Cette efficacité est représentée par la différence entre les entrées et les sorties. Plus la différence est faible, plus l'efficacité à la production est bonne et donc plus les pratiques de la ferme sont efficaces.

- ***Pour utiliser plus efficacement N, P et K, et ainsi diminuer les achats d'intrants coûteux, sans diminuer la productivité***

Produire bien avec une surfertilisation ne relève pas du génie. Produire bien avec tout juste ce qu'il faut pour maintenir le système en équilibre s'avère le défi de l'agriculture biologique. Le producteur biologique s'assure ainsi de mettre en valeur la fertilité du système au moindre coût.

Pour le producteur, un bilan excédentaire ne représente aucun avantage, car il est toujours associé à une inefficacité technique et économique. L'amélioration de l'efficacité de l'azote, du phosphore et de la potasse permet de faire des économies sur les entrées et donc sur les achats, ou encore d'augmenter les sorties, donc les ventes de produits. Cette situation permet d'augmenter les revenus de l'entreprise.

- ***Pour évaluer l'impact environnemental des pratiques en place***

Un bilan excédentaire année après année n'est pas défendable du point de vue environnemental, qu'il soit le reflet de pratiques dites agrobiologiques, ou non. Il ne peut que contribuer à la dégradation du milieu (surcharge d'éléments N, P, K dans l'environnement, pollution des eaux de surface et souterraines). Le maintien d'un bilan équilibré contribue à l'inverse à minimiser les risques de pollution agricole.

- ***Pour intégrer de nouvelles pratiques et juger de leur pertinence***

Le bilan nutritif renvoie le producteur à ses pratiques. Selon l'interprétation qu'il fait de sa situation, certaines pratiques sont alors modifiées, d'autres abandonnées, de nouvelles introduites sur la ferme. Le bilan permet au producteur de mesurer année après année les résultats obtenus des actions mises en place et ainsi de juger de la pertinence de la stratégie déployée.

11.1.2 INTERPRÉTER UN BILAN NUTRITIF

Contrairement au bilan financier, le producteur recherche non pas un bilan nutritif le plus positif possible, mais plutôt un équilibre entre les entrées et les sorties.

L'analyse du bilan nutritif provoque un questionnement sur le fonctionnement du cycle interne de la ferme. Comment circulent les nutriments dans mon système de production? Où se retrouve l'azote, souvent un facteur limitant pour la croissance des cultures? Comment puis-je éviter de le perdre? Comment faire en sorte de le retrouver au moment où la culture en aura besoin et éviter d'en réintroduire inutilement? Cette réflexion nous amène bien sûr vers des actions à entreprendre. L'étude du bilan nutritif de la ferme ne représente en fait que le début des questionnements qu'un agriculteur biologique devra se poser (Patriquin, 1987).

En terme de diagnostic, trois situations sont possibles: un bilan excédentaire, équilibré ou déficitaire. Dans chacun des cas, des questions reviennent souvent. En voici quelques-unes.

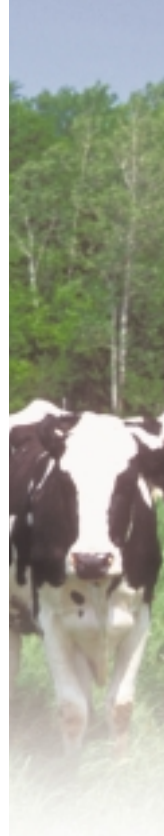
«J'ai de bons rendements, mais mon bilan est excédentaire?»

Parfois l'excédent est dû à une mauvaise planification qui mène à une surfertilisation des cultures, souvent par « simple peur d'en manquer ».

Parfois, le bilan excédentaire est expliqué par des conditions non optimales du système de culture. Communément, on pense à des conditions de sol adverses: mauvais drainage, sol compacté ou décapé, etc. Pour compenser l'effet de ces conditions inadéquates, la surfertilisation des cultures est nécessaire pour l'atteinte de rendements adéquats. Bien que cette surfertilisation s'explique, elle n'est pas justifiée sur le long terme.

Parfois, l'excédent du bilan s'explique par le fait que l'entreprise est en surplus de charge animale par rapport à la superficie de terre cultivée. En bio, ce scénario est toutefois peu fréquent. Dans de tels cas il y a peu de solutions. Il faut revoir la structure même de la ferme et viser à rééquilibrer le cheptel et la surface en culture, ou encore, décider d'exporter des fumiers vers l'extérieur de la ferme.

Plus l'excédent annuel de N, P et K est élevé, plus il traduit des faiblesses dans le système de production. Associé à de bons rendements de cultures, il n'en indique pas moins une réelle surfertilisation des parcelles.



« Mon bilan est excédentaire et pourtant, j'ai de mauvais rendements? »

Associé à de mauvais rendements des cultures, un bilan excédentaire démontre d'autant plus que les composantes du système cultural sont inadéquates : mauvaises conditions de sol, mauvaise utilisation des engrais, mauvaise organisation des cultures dans la rotation. La solution au manque de rendement n'est donc certes plus d'ajouter des fertilisants. Il faut réévaluer le système agricole et identifier le ou les facteurs limitants, afin de corriger la situation. Un suivi serré des résultats aux champs permet d'évaluer la stratégie adoptée.

Évidemment, une situation de bilan excédentaire qui se répète d'année en année augmente les risques de pollution de l'environnement et exige des corrections.

« J'ai un bilan excédentaire, que puis-je faire? »

Un bilan excédentaire signifie qu'il y a une mauvaise gestion des ressources. Ce sont ces mauvaises pratiques qu'il faut améliorer, en introduisant un certain nombre de changements sur la ferme. La première étape exige de revoir les pratiques et d'identifier les faiblesses de l'entreprise en terme de

gestion des fumiers (entreposage et/ou épandage), de rotation des cultures, de gestion des résidus, de gestion des sols ou encore, de calcul de la fertilisation des cultures. Une fois effectuée, un certain nombre d'actions sont mises de l'avant pour tenter de corriger la situation. L'objectif devient alors de réduire les excédents de minimiser les pertes et de maximiser la capacité du système à fournir, en quantité et au bon moment, les éléments nutritifs nécessaires à l'obtention d'un bon rendement.

Quel que soit le type de ferme, l'amélioration du recyclage des éléments nutritifs passe toujours par un meilleur choix des pratiques agricoles : gestion des sols, des cultures et de ses résidus, gestion de l'élevage et de ses fumiers (s'il y a lieu).

Deux avenues peuvent réduire les surplus enregistrés au bilan : réduire les importations et/ou augmenter les exportations.

Souvent le producteur va tenter de travailler sur les deux aspects en même temps, réduire les importations et augmenter les exportations, en planifiant une amélioration dans la gestion de toutes les composantes du système de culture : élevage, fumier, rotation des cultures, gestion des sols et des résidus.

Réduire les importations	Augmenter les exportations
<p>L'utilisation du fumier de la ferme dans de meilleures conditions de recyclage, par exemple sur un engrais vert en croissance, permet de diminuer les doses sans nuire au rendement des cultures. Mieux distribué, on évite d'en importer pour couvrir toutes les parcelles.</p> <p>S'il s'agit de fumier importé, il est facile de réduire les doses de fumier appliquées, en procédant progressivement par des essais en parcelles pour vérifier le comportement des cultures.</p> <p>Un producteur peut choisir d'introduire plus de légumineuses dans la rotation pour diminuer les besoins d'introduire des engrais ou des fumiers. Cela a pour effet de réduire le bilan excédentaire, particulièrement de P et K, tout en assurant un apport d'azote suffisant pour maintenir la productivité du système cultural.</p>	<p>Le producteur peut décider d'intervenir aux champs. Le drainage adéquat et le chaulage optimisent le recyclage des éléments nutritifs sur la ferme et permettent d'obtenir de meilleurs résultats. Un rendement de 8,5 t/ha de maïs grain au lieu de 6,5 t/ha équivaut à une différence de prélèvement de 30 kg de N, 14 kg de P_2O_5 et de 10 kg de K_2O à l'hectare. Le même hectare de terre peut donc recycler mieux la fertilité du système, en autant que cette augmentation de production ne soit pas obtenue par un ajout d'engrais acheté, mais bien par une amélioration des conditions du sol et des conditions des cultures.</p>

«Qu'est-ce qu'un bilan à l'équilibre?»

Pour assurer l'équilibre d'un système agricole, un bilan nutritif doit tendre vers le zéro. Mais il faut bien comprendre qu'un système en équilibre ne signifie pas improductif. Bien au contraire. Pour qu'un bilan équilibré soit acceptable, il doit nécessairement être accompagné de bons rendements des cultures.

L'azote est un élément plus délicat à gérer que le phosphore et le potassium, à cause des risques de volatilisation (fumier) et de son importance pour la croissance des cultures. L'expérience démontre que souvent on le retrouve au bilan légèrement plus élevé que P et K. Le maintien bon an mal an d'un bilan nutritif qui se situerait autours de 30-50 kg/ha/année pour l'azote, et entre - 15 et + 15 kg/ha/année en phosphate et en potasse, tout en obtenant des rendements adéquats aux champs, dénote une efficacité agronomique et économique élevée de l'entreprise.

Un bilan équilibré
se situerait autours de :

En kg/ha/année

	N	P₂O₅	K₂O
Ferme d'élevage :	50	Moins de 15	Moins de 15
Ferme sans élevage :	30	Moins de 10	Moins de 10

Ces données ont été retenues à partir d'un cumul de plusieurs centaines de bilans nutritifs élaborés sur des fermes au Québec entre 1989 et 1999, Centre de développement d'agrobiologie.

«Est-il risqué de maintenir un bilan déficitaire?»

L'azote est un élément qui limite rapidement le développement des cultures et par conséquent la productivité de la ferme. Le bilan déficitaire en azote est donc toujours dangereux. Avec un bilan azoté très faible, il faut garder un œil attentif sur le comportement des cultures.

Pour le phosphore et la potasse, un bilan légèrement déficitaire (-10 kg/ha) ne signifie pas nécessairement une productivité faible du système agricole et l'appauvrissement éventuel des sols. Associé à de bons rendements des cultures, il traduit une excellente efficacité de la gestion des fertilisants et des sols de la ferme, et un fonctionnement optimal des systèmes biologiques (exploration racinaire et mobilisation des minéraux de la roche mère).

Dans tous les cas, un bilan déficitaire année après année exige un suivi rigoureux des résultats des cultures et de l'évolution de la fertilité des sols. Une gestion très efficace de l'azote, pivot de la fertilisation, devient particulièrement importante.

11.2 ÉVALUATION DES SOLS

Nous avons mentionné l'importance du bon fonctionnement des sols en agriculture biologique pour sa contribution à bien nourrir la plante (Voir section 4.1). Mais comment évaluer dans une parcelle ce bon ou moins bon fonctionnement du sol?

Généralement, l'évaluation des sols agricoles consiste à mesurer la quantité de nutriments solubles disponibles pour les plantes, le taux de matière organique «total» et le pH. Dans l'ensemble ces mesures ne sont pas fausses, mais elles sont nettement insuffisantes pour évaluer le fonctionnement réel du sol. Par exemple elles ne nous disent pas si le système racinaire des plantes pourra assez se développer pour utiliser correctement ces nutriments. Elles n'expliquent pas non plus pourquoi la quantité d'éléments solubles d'une parcelle est à un certain niveau, alors que celle de la parcelle voisine, fertilisée de la même façon depuis longtemps, est à un niveau tout à fait différent. En bref elles ne parlent ni de physique du sol, ni d'activité biologique, ni même vraiment de chimie du sol. Or ces éléments sont fondamentaux pour planifier correctement une approche de fertilisation, surtout si elle est organique.

L'approche évaluative utilisée doit viser à comprendre le fonctionnement global du sol. De là, on tente de cibler des interventions plus spécifiques au contexte de production.

11.2.1 L'OBSERVATION DES PROFILS DE SOL

Afin de mieux évaluer les sols de la ferme, nous proposons donc une approche évaluative d'abord basée sur l'observation. C'est une approche qui peut être réalisée par tous et qui a fait ses preuves dans nos conditions de production. Avec un peu de pratique et un peu de temps, un agriculteur attentif peut lui-même réaliser une partie des observations. Pour avoir un second regard, il pourra réaliser cette démarche, accompagné d'un conseiller.



Le premier outil pour l'observation des profils de sol est l'œil, le second, la pelle. Avant de prendre sa pelle et de creuser, quelques points à observer dans la parcelle où on se trouve.

- La facilité avec laquelle le sol se travaille après différents types de traitements. Par exemple après un engrais vert ou un sous-solage, ou encore lors d'un changement de rotation.
- Repérer s'il y a lieu, la présence d'une croûte de battance en surface du sol.
- Observer le développement des plants (vigueur, uniformité, symptômes de carence, plants plus pâles, plus petits qui semblent manquer d'azote)
- Repérer les zones d'accumulation d'eau
- Évaluer la résistance à l'enfoncement (utiliser une tige sonde ou une pelle)

Une fois les observations sur la parcelle effectuées, il s'agit de creuser quelques profils afin d'évaluer l'état du sol sous la surface.

- **Creuser une tranchée** sur près de 1 à 1,40 mètres de profondeur, en prenant garde d'éviter les chemins de passage ou d'autres lieux perturbés.

- Préférentiellement avec une petite pelle : cela permet de détecter si le sol est dur, s'il se détache en grosses mottes ou s'il est grumeleux.

- **Observer la forme des agrégats.**

- **Observer la couleur des horizons.**
La couleur parle:

- Noire : en surface = souvent présence de matière organique.
- Noire : entraînées le long des fissures et dans les trous de vers de terre = descente de matière organique;
- Brun, rouge, rouille, bleu-gris : fer sous différentes formes.
- Brun : brunification, présence d'oxyde de fer.

- Rouille : fer oxydé (l'air atteint cette zone); en traînées ou taches autour de fissures = présence d'air dans un environnement mal aéré, tendance à la réduction en période humide
- Rouge : oxyde, provenant de l'altération de la roche-mère, fréquent dans certaines régions, peut masquer beaucoup d'autres phénomènes telle l'accumulation de la matière organique.
- Bleu-gris : fer réduit, la zone est mal aérée, voire immergée pendant de longues périodes.

• Sentir le sol.

- Une odeur de putréfaction (œufs pourris) indique un phénomène de décomposition en anaérobiose (absence d'oxygène) souvent dû à un problème d'égouttement des eaux.

• Détecter les zones indurées, leur emplacement et leurs importance.

- À l'aide d'un couteau, piquer le profil de haut en bas, à quelques reprises. Identifier s'il y a présence de zones où le sol est plus tassé, plus difficile à pénétrer avec le couteau. Car même profondes, ces zones peuvent avoir un impact négatif sur les rendements en limitant la croissance des racines et en perturbant la circulation de l'eau.

- Prendre garde aux changements de texture qui pourraient vous induire en erreur.

• Observer l'abondance et la profondeur des racines.

Probablement l'observation la plus « parlante » pour l'observateur ordinaire. Tout comme le développement foliaire, le développement racinaire peut nous donner quelques indications sur les plantes et leur milieu. On peut observer les racines lorsqu'on creuse un profil de sol. On ne peut toutefois interpréter ces observations que sur une base comparative. Idéalement, pour établir cette base comparative :

- 1- Choisir des plantes de même espèce, sur des parcelles semblables, ayant subi la même régie.
- 2- Afin de détecter les variations de comportement du sol, comparer des zones où les plants sont beaux et d'autres où ils le sont moins.



Creuser un profil est fondamental pour pouvoir vraiment juger de l'état de son sol. Les renseignements qu'on pourra en retirer iront entre autres de l'état structural du sol, au développement racinaire des plantes (comme sur cette photo), en passant par l'excès d'eau en période humide.

Lorsqu'on a choisi les sites à comparer, on évalue les points suivants.

L'abondance du racinaire.

Quelques possibilités :

- Le racinaire est abondant et semble envahir tout le volume du sol sans qu'il y ait de grosses fissures : aucun problème.
- Les racinelles sont assez abondantes, mais petites et chétives : la porosité du sol est à la limite de l'acceptable et pourrait être améliorée.
- Les racinelles sont peu abondantes et chétives : la porosité du sol est faible.

La profondeur du racinaire

Quelques possibilités :

- Les racines sont abondantes sur tout le profil. Elles sont normalement de moins en moins abondantes vers le fond, mais sont encore bien présentes sur toute l'épaisseur du sol drainée (environ 1m-1,50 m) : aucun problème.
- Les racines sont abondantes en surface, mais leur quantité diminue rapidement et il n'y en a que très peu qui descendent en profondeur : faible porosité vers le fond.
- Dans certaines zones, les racines ne descendent que dans les galeries de vers de terre ou dans les grosses fissures : manque de porosité dans ces zones.
- Les racines sont très abondantes vers la surface, mais elles s'arrêtent pratiquement toutes ensemble à une certaine profondeur : induration, ou manque de porosité et/ou stagnation d'eau là où s'arrête le gros des racines.

Remarque. Il est normal que les racines soient plus abondantes dans l'horizon de surface du sol, mais toutes les plantes cultivées ont le potentiel de plonger leurs racines au moins jusqu'à un mètre. Si les racines ne se développent qu'en surface, on peut soupçonner un problème de structure et/ou de drainage

• Mesurer l'épaisseur des horizons.

- Un horizon de surface très mince sur une couche plus dure indique une difficulté à former des réserves accessibles à la plante. Indique aussi souvent un problème de circulation de l'eau en profondeur. L'épaisseur détermine aussi l'importance d'un horizon dans la caractérisation d'un sol.

• Observer la répartition et l'état de décomposition de la matière organique.

- Si l'on retrouve de vieux résidus de plantes (plus d'une saison) — la couenne d'une prairie labourée il y a plusieurs années, ou des « cotons » de maïs momifiés, peu décomposés et encore identifiables — c'est que l'activité biologique tourne au ralenti. Les causes peuvent être multiples, mais dépendent souvent d'un drainage déficient ou d'une structure de sol trop peu poreuse.
- Y a-t-il la présence de matière organique descendue dans le profil, signe de lessivage des fractions plus labiles des M.O. ?

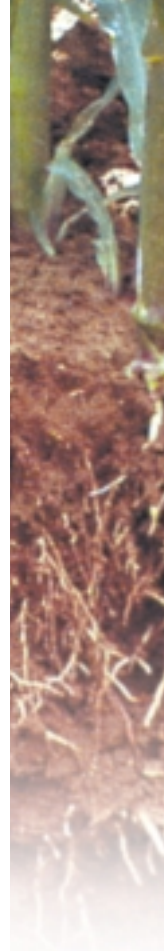
• Évaluer le comportement de l'eau

- Suintement ou circulation horizontale après une pluie.
- Remontée d'eau dans la fosse du profil.
- Distribution de l'humidité le long du profil : par exemple, humide au dessus, sec en dessous, ou l'inverse.

Pour comprendre des problèmes de sol

Pour aider à comprendre un problème rencontré dans une parcelle, il est avantageux d'effectuer deux profils de sol. D'une part, là où les problèmes sont observables (quant à l'état du sol et/ou le comportement de la culture). D'autre part, à proximité, là où le problème apparaît moins important. Assurez-vous d'être dans les deux cas sur un même type de sol. Cette approche comparative facilite grandement l'interprétation des informations cumulées.

Ces simples observations sont d'une importance capitale pour qui veut identifier correctement les points faibles de ses sols. C'est à partir de celles-ci qu'on pourra interpréter l'ensemble des autres données analysées, envisager les actions correctives nécessaires et garantir une planification optimale de la fertilisation des cultures.



11.2.2 L'ANALYSE DE SOL

L'analyse de sol en laboratoire peut permettre de compléter le diagnostic de l'état des sols de la ferme effectué par l'observation des profils de sol. Mais elle ne le remplace pas.

Plusieurs tests et analyses peuvent ainsi être effectuées. Le tableau suivant en cite quelques-uns, mais le tout n'a pas la prétention d'être ni exhaustif, ni définitif.

<i>Tests et analyses</i>	<i>Utilité</i>
Granulométrie	Détermine la texture du sol, i.e. ses proportions en sable, limon, argile.
Coefficient de fixation des sols	Évalue la capacité du sol à lier (structurer) les fines particules du sol et à retenir les nutriments
État calcique (inclue des mesures de Ca et Mg extractibles, les pH, le niveau de carbonatation)	Évalue l'état d'acidification du sol, participe à déterminer les besoins en chaux.
Niveaux de P, K extractibles	Approximation de ce que le sol peut rendre disponible
Présence et formes du fer et de l'aluminium	Évalue l'état des liens structurants du sol, la possibilité de lessivage dans le profil, la dynamique de l'acidification, le danger de blocage et de toxicité.
Quantité et état de la matière organique	Évalue le fonctionnement du cycle organique (accumulation/minéralisation), le rôle de la matière organique dans la structuration, sa contribution potentielle à la fertilité.
Porosité et rapport air/eau	Évalue l'importance de la porosité du sol et sa facilité à évacuer les surplus d'eau.

Comment utiliser les résultats d'analyse de sol ?

Les analyses standards de sol sont utiles pour nous aider à évaluer la disponibilité de certains nutriments. Toutefois on pense trop souvent que ces résultats seuls (particulièrement les mesures de P et K assimilables) peuvent déterminer les doses d'engrais à apporter à une parcelle pour répondre aux besoins d'une culture. Ainsi, le résultat d'analyse serait l'information centrale pour construire le plan de fertilisation. Rien n'est plus trompeur.

Il faut prendre bien soin de ne pas interpréter des résultats d'analyse de sol dans l'absolu, en regard d'une grille de fertilisation qui permettrait toujours des résultats optimaux en autant qu'on s'y conforme. Au contraire, l'interprétation des résultats d'analyses doit toujours être faite au cas par cas et varier en fonction des situations. Si l'analyse de sol est utile, ce n'est surtout pas pour dicter la stratégie de fertilisation.

Un des intérêts des analyses de sol est de permettre le suivi d'une parcelle sur une longue période de

temps. Par exemple, l'utilisation de 10 années de suivi d'analyse de terre comme critère d'évaluation du comportement du sol peut s'avérer utile. Selon que la teneur en un élément donné se maintienne, s'accroisse ou diminue, ajoute à l'évaluation du comportement du sol de la parcelle. Couplées à d'autres informations de suivi du système cultural — rendements des cultures, présence de déficience minérale, observation de profils de sol dans la parcelle, bilan nutritif de la ferme — l'agriculteur est en mesure d'interpréter d'autant mieux l'efficacité de ses pratiques et ajuster sa stratégie de fertilisation en conséquence.

C'est donc dire que la seule analyse de sol sur la base d'une seule année de donnée informe très peu le producteur de l'état de fertilité de sa terre et de la stratégie de fertilisation à employer.

En d'autres mots, l'analyse de sol, même celle effectuée dans les laboratoires les plus modernes, ne demeurera toujours qu'un outil de plus pour évaluer l'état de fonctionnement des sols et planifier la stratégie de fertilisation la mieux adaptée.

Saviez-vous que ?

Sol riche ou sol pauvre ?

L'analyse de sol nous donne la quantité de minéraux que contient la solution d'un sol. C'est un élément important de la fertilité des sols. Mais d'autres facteurs non mesurés par l'analyse, mais détectables sur le terrain le sont tout autant et viennent tempérer ces résultats de labo. Par exemple, dans des systèmes de production qui exportent peu, comme la céréaliculture et l'élevage, un sol pauvre en phosphore selon les grilles d'interprétation des analyses n'entraîne pas nécessairement une carence en phosphore dans les cultures. Au contraire certaines cultures peuvent montrer des signes de carence en P sur des sols qui en sont pourtant riches à l'analyse. Les observations cumulées des dernières années ont maintes fois confirmé que le niveau de fertilité d'un sol n'est pas directement proportionnelle à sa « richesse » analytique. Pourquoi ?

1- Certains systèmes peuvent produire de bonnes récoltes malgré des analyses de sol qui indiquent un sol pauvre en phosphore...

Explication possible :

- La structure du sol est bien développée, le système racinaire est abondant et les plantes sont très efficaces pour utiliser le peu de réserve.
- L'état calcique est à un bon niveau et le phosphore reste toujours disponible pour les plantes.
- L'activité biologique est intense et les réserves de P du sol qui ne paraissent pas à l'analyse sont libérées au fur et à mesure des besoins de la plante.
- La réserve insoluble de P est assez abondante.
- Le bilan minéral est équilibré, c'est à dire légèrement positif ou très légèrement négatif, sur des sols dont l'activité biologique remet tout de suite en solution les réserves insolubles de P.

Pour des productions plus exigeantes, sur de tels sols, à condition de combler le déficit d'exportation du phosphore, le système pourrait tourner très efficacement. Mais pour une production semblable, sur un sol qui « tourne » moins bien, c'est à dire qui est moins « biologiquement actif », il faudrait augmenter la fertilisation pour en arriver à maintenir des rendements corrects.

2- Dans certains cas, les analyses du sol indiquent un bon niveau de phosphore, mais les cultures montrent des signes de carence et les rendements et la qualité sont quelconques...

Explication possible :

- Le sol est trop froid. C'est une situation fréquente sur les semis de maïs en début de saison. La plante montre alors une carence temporaire qui devrait se corriger d'elle-même lorsque le sol se réchauffera. Mais cela peut ne pas être sans conséquence sur les rendements si la carence est importante et dure assez longtemps.
- Un état calcique déficient peut aussi diminuer la disponibilité de P pour les plantes.
- Une faible activité biologique, en minimisant la mise en solution de P, ralentit le passage à la plante.
- Excès d'humidité. Dans les « baises » en particulier, souvent le niveau de P est élevé et les rendements bas.

11.3 LE SUIVI DES CULTURES

11.3.1 L'ANALYSE FOLIAIRE

L'analyse foliaire ou de tissus permet de détecter les déficiences, les toxicités et les déséquilibres minéraux dans la plante, et ce parfois même avant que les symptômes visuels n'apparaissent. L'analyse de tissus est donc intéressante puisque la plante demeure le meilleur indicateur de l'efficacité des pratiques de fertilisation. L'analyse des tissus végétaux, dont les résultats sont validée à l'aide d'une charte spécifique à chaque espèce, nous précise mieux que tout si l'alimentation par la plante s'est effectuée de manière adéquate. Seul l'analyse foliaire est en mesure d'intégrer toutes les composantes qui concourent à son développement.

Dans la pratique ce type d'analyse est utilisé principalement pour répondre à des situations particulières :

- La croissance de la plante est inadéquate, alors que le niveau de richesse du sol semble correct;
- Le niveau de richesse du sol mesuré à l'analyse de sol est faible et la crainte d'une éventuelle carence est réelle;
- L'agriculteur souhaite effectuer un suivi pointu du comportement des plantes, dans le cadre d'une validation d'une nouvelle pratique culturale par exemple.

Dans toutes ces situations, l'analyse de feuillage ajoute une information précieuse pour réfléchir à une situation donnée et orienter au besoin l'ajustement d'une pratique. Couplées aux analyses de terre, ce suivi analytique permet de se faire un portrait plus juste du potentiel de mise en disponibilité d'éléments nutritifs par le sol et d'orienter la fertilisation en conséquence.

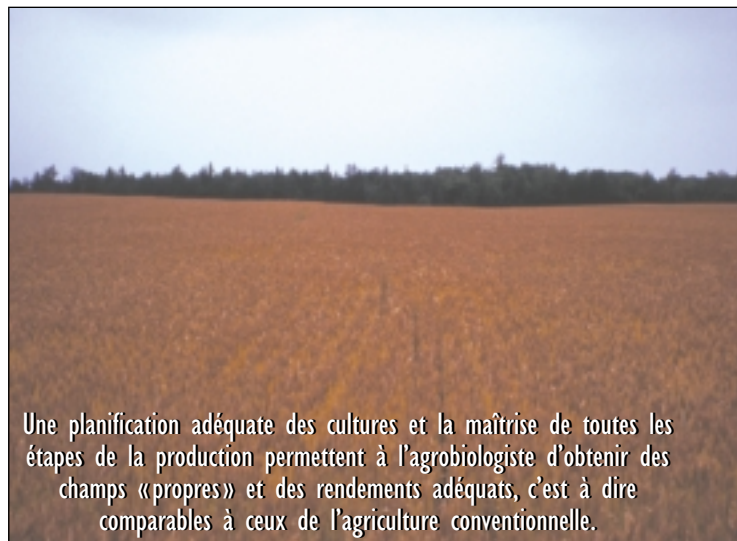
Analyses de fourrage

En élevage, beaucoup de producteurs ont l'habitude de faire analyser leur fourrage pour en connaître la qualité. Ces analyses sont assez semblables aux analyses foliaires, quoique orientées d'abord et avant tout pour planifier l'alimentation des bêtes. Les informations recueillies peuvent tout de même être fort utiles pour aider à répondre aux mêmes interrogations que les analyses foliaires. De plus, comme elles se répètent année après année, elles permettent de bien suivre l'évolution de la situation.

11.3.2 LE RENDEMENT DE LA PARCELLE

S'il est une mesure de suivi généralement utilisée sur les fermes, c'est bien le rendement. Une majorité des producteurs l'estiment, voire le mesurent assez précisément, à chaque saison de production. Certainement pour chacune des cultures, parfois pour chacune des parcelles. La plupart du temps, on évalue le poids total récolté des différentes cultures, que l'on distribue sur la superficie ensemencée. On obtient ainsi un rendement moyen en kg à l'hectare ou à l'acre. Certains producteurs tenteront de connaître la variation de ce rendement d'une parcelle à l'autre, voire la variation interne à une parcelle.

Tenter d'être un peu plus précis s'avère un exercice pertinent pour permettre au producteur un suivi plus pointu du fonctionnement de son système cultural et de l'efficacité des stratégies de fertilisation développées. Un sol moyen dans une parcelle n'existe pas. Il est normal d'avoir des variations de potentiel de sol dans un même champ. À l'occasion, elles peuvent être importantes. Des coins de parcelle sont très bons, d'autres moins. Connaître cette variation permet de cibler des interventions particulières, dans le but d'améliorer le potentiel de fertilité sur ces zones particulières, faisant en sorte d'élever la productivité sur toute la parcelle. Plus la connaissance des variations des sols de la ferme est importante, plus l'agriculteur détient une information qui lui permet de raffiner ses interventions en fonction des besoins réels. La venue de la technologie GPS apporte ici une facilité pour l'obtention d'une information précise et pertinente. Mais une fois l'information en main, encore faut-il l'utiliser, et surtout agir correctement.



Une planification adéquate des cultures et la maîtrise de toutes les étapes de la production permettent à l'agrobiologiste d'obtenir des champs «propres» et des rendements adéquats, c'est à dire comparables à ceux de l'agriculture conventionnelle.

BIBLIOGRAPHIE

- A.D.A.S., 1983. Les fertilisants organiques, Le courrier du livre, Paris.
- A.F.E.Q. Manuel de fertilité des sols, Montréal.
- Barber, S. A., 1984. Soil Nutrients Bioavailability, John Wiley & Sons, New York.
- Breune, I., L. Forest, P. Jobin, J. Petit, 2000. La structure du sol, un élément de sa fertilité, Centre de développement d'agrobiologie et Club du CDA, Québec.
- Duval, J., 2003. Manuel des intrants bio, Club Bio-Action, M A P A Q, Québec.
- Forest, L., P. Jobin, J. Petit, 2004. La culture sur billon et le semis direct : état du sol et croissance des cultures, CDAQ, Longueuil.
- Gaucher, G., 1968. Traité de pédologie agricole, le sol et ses caractéristiques agronomiques, Dunod, Paris.
- Jobin, P., Y. Douville, 1996. Engrais verts et cultures intercalaires, Centre de développement d'agrobiologie, Ste-Élisabeth-de-Warwick.
- Jobin, P et G. Forand. 1993. Le bilan nutritif, une approche écologique de la gestion des éléments nutritifs sur la ferme. Essais et observations à la ferme - Rapport technique, Centre de développement d'agrobiologie, Ste-Eliz.-de-Warwick.
- Hérody, Y., 1997. Connaissance du sol, tome 1, Le modèle de base, BRDA Éditions, Charency.
- Hérody, Y. Guide BRDA des engrais, Fascicule 2, engrais organiques, BRDA Éditions, Charency.
- Institut de l'Élevage, 1999. Le bilan des minéraux. Cahiers 1 et 2. Documents réalisés par un groupe de travail animé par l'Institut de l'Élevage, Paris, France.
- Legault, C, 2004. Guide de transition en agriculture biologique. Fédération d'agriculture biologique du Québec, 44 pages.
- M.A.P.A.Q., 1982. Manuel de gestion des fumiers, Québec.
- Massenot, D., 2000. Les bases de la méthode Hérody, BRDA Éditions, Charency.
- Minnich, J., M. Hunt, 1979. The Rodale Guide to Composting, Rodale Press, Emmaus, Pa.
- Organic Gardening and Farming, 1973. Organic Fertilizers : Which Ones and How to Use Them, Rodale Press, Emmaus, Pa.
- Patriquin, D.G., 1987. Nitrogen and biological husbandry, in The role of microorganisms in sustainable agriculture, AB Academic Publishers, p.81-103.
- Petit, J., 1988. Compost, théorie et pratiques, Éditions de l'Oiseau moqueur, Mandeville.
- Scott, A., 1968. Les sols, Beauchemin, Montréal.

Ont collaboré



FINANCÉ PAR :



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada

Canada

**Ministère
de l'Agriculture,
des Pêcheries
et de l'Alimentation**

Québec



Programme de soutien au
développement de l'agriculture biologique



FABQ
FÉDÉRATION D'AGRICULTURE
BIOLOGIQUE DU QUÉBEC

ISBN 2-9809006-0-5

