

La pratique du chaulage

De la construction du référentiel régional à la démarche de conseil en exploitation

B. Fabre⁽¹⁾ et F. Kockmann⁽²⁾

(1) ISARA, 31 place Bellecour, 69288 LYON, bernard.fabre@isara.fr

(2) Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire, 59 rue du 19 mars 1962, BP 522, 71010, MACONCEDEX

RÉSUMÉ

Le chaulage, pratique très ancienne, joue sur de très nombreuses composantes du sol. En cela, il contribue au maintien de la fertilité globale du milieu. A l'inverse des apports de fertilisants, le chaulage joue en interaction avec de nombreux facteurs et conditions de rendement. De ce fait, il modifie l'effet des facteurs de production employés. Il doit être envisagé dans la durée. Le raisonnement des pratiques culturales, n'est plus aujourd'hui une simple application de techniques jugées indépendantes, mais un réel pilotage de la culture, fonction d'objectif de rendement. Ceci implique une connaissance précise des modifications des comportements du sol induites par le chaulage et des interactions sol-plante. Comprendre les effets de l'apport d'un amendement basique calcique permet de préciser les avantages à retirer du chaulage, et de construire le référentiel régional, base des prescriptions. Cette construction de références régionales, nécessite donc une mobilisation d'éléments de la théorie agronomique, tant conceptuelle que méthodologique, mais encore partielle, pour prendre en compte et comprendre ces multiples interactions. De plus certains effets positifs devraient être testés et mesurés à des échelles différentes de la parcelle (érosion, transferts vers l'eau...).

Mots clés

Amendement basique calcique, chaulage, modèle d'action, références, acidification, conseil en exploitation, propriétés physiques, biologiques et chimiques du sol

SUMMARY

LIMING PRACTICE: From references construction to an advice process on a farm

Liming is a very old practice, involved in a fertility conservation policy. It concerns yield conditions and not yield factors, because liming has many effects on soil (fig. 2). These consequences may change the farmer's decisions on several practices. The advisor's work must take into account all of them and needs many references to do it.

However advice needs more than a simple reference about yield increase by liming. We must have:

- a knowledge of the farmer's cognitive action model,

- a typology of the risks derived from soil acidification and the effects of the environment on them (climate, type of soil, cropping system...).

- and then, we must reach to an arrangement from three logics: farmer, seller supply, advisor. (fig. 1)

The farmer's cognitive action model is based on the objectives built according to the risks, the decisions rules of action and the indicators the farmer gives himself. The understanding of this model gives the advisor, the ability to suggest advice, close to the farmer's logic and therefore more acceptable.

The soil risks can be measured by current soil analysis, (pH, texture, CEC, cations content...) or observed (crusting, stability, erodibility, seepage speed of excess-full water, flora...). We propose a typology of field based on these criteria that gives us an idea about the main problems of the region

In the same way, we proposed a typology of applied cropping systems (table 1, for example), based on the type of crop sequences, the use of manure, the type of N or P fertilisers, the period of tillage or carriage. These cropping systems can increase or decrease the risk of soil acidification.

The benefit of liming may be assessed at different scales, on field, on farm, on land, (table 4) and, because liming have many consequences, it is a little difficult to do it.

- On field level, the effects depend on several factors: (i) initial state of soil, (ii) climate after liming, (iii) farmer's practices for crop, climate during the cropping period (fig. 3). All of these factors interact and have an effect on yield components, but not always in the same way except for Al or Mn toxicity. So the study of liming effects on yield may be done very carefully with the process of crop yield built-up.

- On farm or catchment scale, the effects of liming are not clearly defined and assessed. One reason is that experiment are made « all thing being equal », except the studied factor. So, we can't see the interactions. The studies on that level may be done by farm monitoring, simulation with models in order to have technical references. These new references permit the advisor to assess the benefits of liming. With these precautions, the advisor come to an arrangement on the farmer strategy and on farmer tactics (fig. 4). Liming lead them to plan all the management of the field (tillage, fertilisation, watering...) (tables 2 and 3) and may have consequences on farm management, and land conservation.

Key-words

Acid soil, liming, soil properties, advice on farm, references, cognitive action model, acidification.

RESUMEN

LA PRÁCTICA DEL ENCALAMIENTO: de la construcción del referencial regional a la gestión del consejo para las explotaciones

El encalamiento, práctica muy vieja, juega sobre numerosos componentes del medio. Con esto, contribuye a una política de conservación de la fertilidad del medio. Al contrario del aporte de los fertilizantes, el encalamiento juega en interacciones con numerosos factores y condiciones de rendimiento, y debe estar considerado en el tiempo. En facto, modifica los efectos de los factores de producción usados. El razonamiento de las técnicas de cultivo no pasa más ahora por la simple aplicación de técnicas jugadas independientes. Un real manejo del cultivo, con un objetivo de rendimiento, y integrando las interacciones implica un conocimiento preciso de estas modificaciones de comportamientos de los suelos inducidas por el encalamiento. Entender los diferentes efectos del aporte de un abono básico cálcico permite precisar las ventajas del encalamiento. A este nivel el enfoque pasa generalmente por la construcción de un referencial regional, base de las prescripciones. La organización de un consejo y de nuevas referencias regionales necesita una movilización de la teoría agronómica, tanto en términos de conceptos y modelos que de metodología para tomar en cuenta estas numerosas interacciones y estas variaciones de los efectos de los factores..

Palabras claves

Abono, encalamiento, modelo de acción, referencias, acidificación, consejo en explotación, propiedades físicas, biológicas y químicas del suelo.

L'acidification (corrigée par le chaulage) entraîne, des risques dont la nature et l'intensité sont variables selon les milieux sur lesquels intervient l'agriculteur. Ces risques doivent être définis, objectivés et localisés précisément. Cependant, les agriculteurs ont des approches et des représentations très diverses des problèmes et des contraintes liés à l'acidification. En conséquence, leurs pratiques sont très variables selon le type d'exploitation, leurs systèmes de culture et les terrains sur lesquels elles s'appliquent. Des approches des pratiques et du milieu (sur la base de typologies) en terme de risques sont nécessaires pour apporter un conseil adapté. De plus, pour intégrer au conseil la gestion des risques et les prises de décisions par l'agriculteur, l'organisation du conseil en matière de chaulage demande de mobiliser de nouveaux concepts et modèles théoriques sur la gestion même de cette pratique.

Si le chaulage est appliqué sur une parcelle, les modifications du sol qu'il induit, ont des conséquences multiples, à d'autres échelles, exploitation ou bassin versant, qu'il est de plus en plus nécessaire de considérer dans le cadre d'un conseil. En effet, l'évolution des prix agricoles et la montée des contraintes environnementales, obligent les agriculteurs à une réflexion sur les charges de cultures et les conséquences de leurs pratiques sur le milieu.

Néanmoins, la prise de la décision de chauler nécessite un compromis entre plusieurs logiques, qu'il faut nécessairement intégrer : celle de l'agronome, qui met en place des références adaptées à la diversité des milieux et des pratiques, celle du distributeur qui offre une certaine gamme de produits et de services et celle de l'agriculteur, confronté à des contraintes de parcellaire, d'organisation et qui a une représentation de la technique proposée. L'aide à la décision doit permettre son établissement. Les références utiles au conseil ne prennent pas toujours en compte les multiples effets de cette technique et doivent donc mobiliser de nouvelles formes d'approches, selon les risques encourus et les échelles de travail, pour une meilleure aide à la décision.

Cet article propose une démarche (*figure 1*) pour organiser le conseil dans un contexte régional donné en mobilisant concepts et modèles offerts par la théorie agronomique. Le conseiller, avec l'agriculteur, a la charge d'élaborer le compromis. L'agronome doit construire le référentiel sur lequel le conseiller pourra s'appuyer. Cette réflexion sur la mise en place du conseil, s'appuie sur nos expériences en matière de chaulage. On abordera successivement la prise en compte des diversités régionales, la complexité des effets du chaulage sur le système sol-plante, ses conséquences sur la recherche de références à des échelles différentes et pour conclure, nous présentons une démarche de conseil au niveau de l'exploitation.

L'AGRONOME CONFRONTÉ À UNE DOUBLE DIVERSITÉ RÉGIONALE : milieu et acteurs

Dans un contexte régional donné, le conseil en matière de chaulage requiert au préalable la construction d'un référentiel régional. Dans cette perspective, l'agronome doit intégrer une double diversité :

- celle des milieux et des systèmes de cultures, afin de hiérarchiser les situations à risques par rapport à l'acidification,
- celle des exploitations et des modèles d'action, afin de moduler les stratégies de conseil en intégrant les acteurs.

Les risques liés au milieu

L'évaluation des risques de l'acidification, peut se faire selon deux axes : les risques liés au milieu et ceux liés aux systèmes de culture pratiqués qui jouent sur les états du sol et sur les fuites en calcium.

Pour les risques liés au milieu, on peut retenir d'une manière générale :

- des caractéristiques de l'état chimique du sol, issues des analyses de terre classiques, donnant des indications sur le statut acido-basique, comme les pH eau et KCl, les réserves en calcium, les CEC à pH 7 et/ou au pH du sol et leur taux de saturation, ou encore indiquant des toxicités potentielles comme les teneurs en Al, Mn et autres éléments traces ;

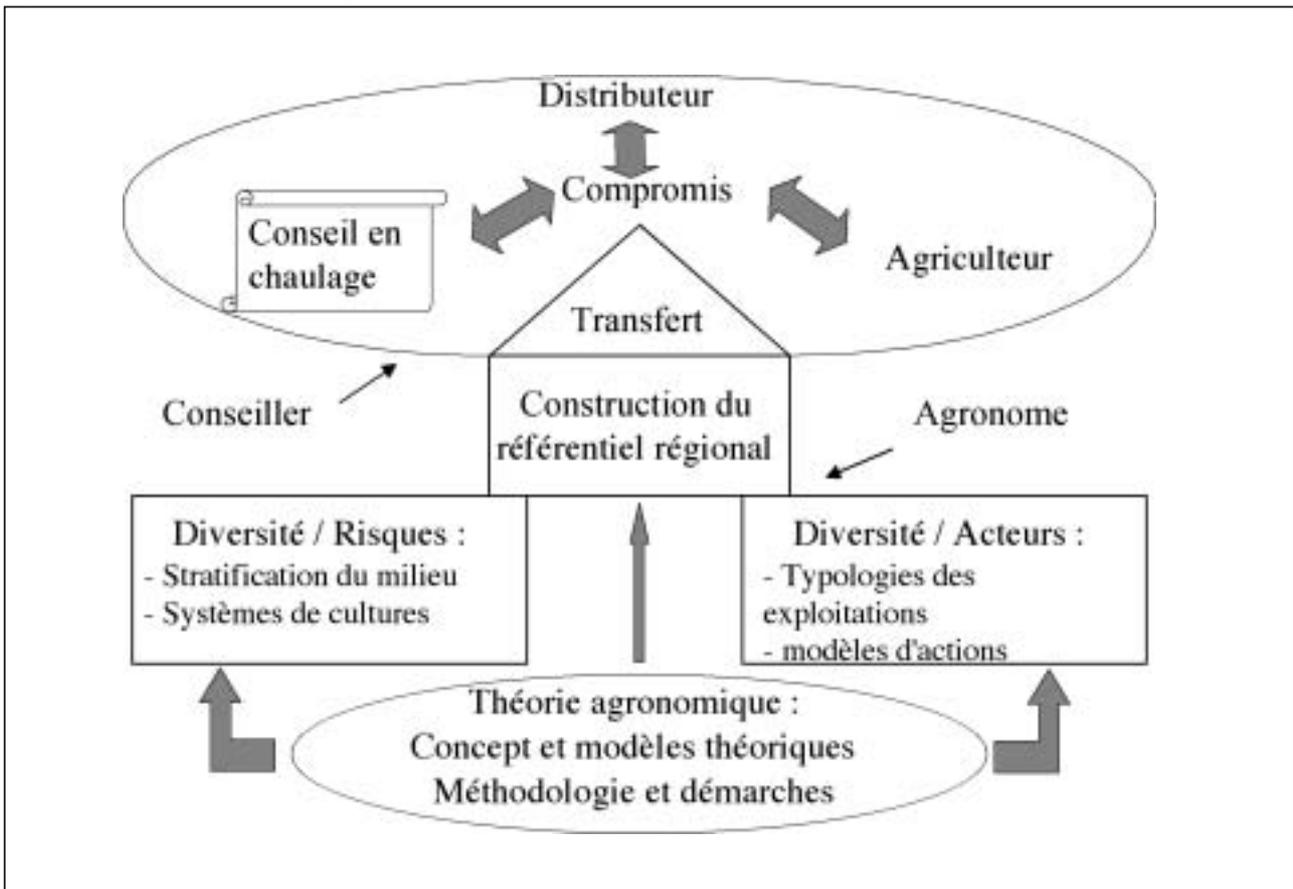
- des caractéristiques liées aux comportements au champ, mesurées comme la granulométrie, la teneur en matière organique, ou observées, comme la battance et la prise en masse, le fonctionnement hydrique et la climatologie, le type de flore, ou encore l'abondance des vers de terre ;

Ces différents éléments permettent de caractériser les grands types de terrain, non seulement sur des aspects liés au pH, mais aussi sur leur fonctionnement et leur résistance à la dégradation de la structure, (Fabre et Kockmann, 1987). Dans la situation des limons de Saône et Loire, les aspects liés à la dynamique de l'eau et ses conséquences sur l'érosion, à l'échelle de la parcelle sont particulièrement importants à prendre en compte et à évaluer.

Pour les risques liés au système de culture, il importe de caractériser les grands types de systèmes de culture, afin de voir si leur gestion augmente ou diminue les risques liés au milieu. Outre les questions relatives à la plus ou moins grande sensibilité des cultures, aux effets de l'acidité, ou à une dégradation de la structure, on peut retenir les indicateurs de classification suivants :

- le caractère dégradant des travaux (période, type, nombre de passages, équipements) qui augmentent la densité apparente, limite la circulation de l'eau et peut induire l'engorgement du profil et la battance ;

- la fréquence de sols nus en hiver, qui augmente les quantités

Figure 1 - La démarche d'organisation du conseil dans un contexte régional**Figure 1** - The process of advice organisation in a regional context

d'eau percolée et les pertes de Ca ;

■ de même, la nature, les doses et le type d'engrais azoté (Malhi *et al.*, 1998), organiques ou minéraux interfèrent sur les fuites en Ca et la baisse du pH. Par exemple, les fortes proportions d'azote ammoniacal comme on le constate entre autres sur les 42 parcelles à Versailles, conduisent à une acidification plus forte (Pernes-Debuyser et Tessier, 2002). On peut aussi prendre en compte le type d'engrais phosphaté. On sait que l'utilisation importante des scories a limité les baisses de pH, en particulier dans les zones d'élevage.

C'est à partir des premiers critères que le *tableau 1* a été construit, sur la base de résultats obtenus dans différentes situations de sols de limons. Le classement des situations combinant les systèmes de culture et les types de milieu permet de situer l'importance des effets attendus du chaulage vis-à-vis de la stabilité de la structure et de la circulation de l'eau et donc de l'intérêt de cette technique.

La diversité des modèles d'action

Le concept de modèle d'action, introduit par Sébillotte et Soler (1990), applicable à la gestion des agro-équipements, à la condui-

te des cultures ou à toute autre pratique, induit un réel renouveau dans la démarche d'aide à la décision. Le conseiller est invité à écouter et à comprendre l'agriculteur en intégrant le fonctionnement global de son exploitation ainsi que ses représentations pour ensuite élaborer une solution personnalisée. Décrire un modèle d'action demande de préciser quels sont les objectifs de l'agriculteur, quels types de risques il veut diminuer, quelles règles et quels indicateurs il se donne pour agir, quelles sont les stratégies alternatives envisagées en cas d'aléa.

Dans un contexte régional, il apparaît intéressant de caractériser la diversité des modèles d'action relatifs au chaulage pour ensuite les repérer sur les exploitations, dans la pratique quotidienne du conseil. C'est dans cette perspective que Kockmann et Loisy (1995) ont réalisé une enquête régionale en Saône-et-Loire : la pratique du chaulage recouvre une forte diversité dans la mesure où six modèles d'action différents ont été identifiés, dont on présente ici les cas extrêmes.

■ **Le modèle 1** est celui d'un agriculteur très technique, qui veut limiter les risques sur toutes ses parcelles (limons battants comme

limons argileux, cultures annuelles comme prairies permanentes) et le plus vite possible. Le chaulage est une priorité, au même titre que la fertilisation phosphatée et potassique. Il recherche un optimum agronomique et applique les conseils donnés par le Plan de Fumure à la lettre, voire au delà. Les produits sont élaborés, les doses sont différenciées selon les parcelles. Les épandages se font en été ou secondairement au printemps. Ces agriculteurs ont une bonne connaissance des effets du chaulage sur le comportement des sols.

■ **Le modèle 2** se rapproche du premier, mais les agriculteurs privilégient les terres limoneuses drainées susceptibles de mieux valoriser le chaulage. Les parcelles sableuses ou argileuses, comme les parcelles non drainées ou les prairies permanentes sont exclues. Le Plan de fumure les guide dans leurs décisions. Le souci d'économie en temps et en argent leur fait appliquer en été une dose simple ou double sur toutes les parcelles retenues selon les niveaux de correction conseillés. Le produit utilisé est un calcaire broyé issu d'une carrière proche. Leur bonne connaissance agronomique leur permet de choisir les parcelles prioritaires et de simplifier les préconisations du Plan de Fumure.

■ **Le modèle 6** est soumis totalement aux pressions commerciales. Le chaulage est une pratique aléatoire. Ces éleveurs font un « coup de commerce » et choisissent fréquemment des produits chers, souvent complexes. Habités aux Scories, ils ont une très bonne image de la chaux. Leurs indicateurs d'action sont plus basés sur des observations au champ (flore, dynamique de l'eau...) que sur des analyses. Ils réservent les amendements aux prairies permanentes humides et aux implantations de prairies temporaires.

Cependant dans l'enquête, le fonctionnement des exploitations ne paraît pas être un indicateur pertinent des modes d'action en matière de chaulage. En effet, la dimension économique, comme la perception des avantages du chaulage sont plus fonction des connaissances et de l'expérience de l'agriculteur et de la pression de l'environnement commercial.

L'intérêt de connaître la diversité des modèles d'action est de pouvoir proposer des stratégies et planning de chaulage adaptés, respectants les exigences agronomiques et les différentes logiques des agriculteurs. En particulier, le conseil peut les aider à établir les priorités, entre les parcelles et à prendre des décisions d'action.

L'AGRONOME CONFRONTÉ À LA COMPLEXITÉ DES EFFETS DU CHAULAGE

Bâtir un référentiel régional, base du conseil, c'est aussi et déjà mobiliser toutes les connaissances, certes évolutives et éparées offertes par la recherche : que sait-on des répercussions du chaulage à l'échelle de la station culturale ?

Le chaulage :

schéma général des répercussions sur le sol

Déjà Coppenet (1956) écrivait « les sols de chaux conditionnent dans le sol les propriétés chimiques, physiques et biologiques nécessaires à l'assimilabilité de tous les autres éléments ». Toutefois, les liens ont rarement été faits au champ pour appréhender d'une manière globale ces trois composantes du sol et leurs effets sur les cultures : Fabre et Kockmann (1987) représentent les répercussions du chaulage sur le système sol-plante en limons hydromorphes. Le groupe chaulage COMIFER (1986, 1995, 2000) reprend et enrichit le schéma initial, en identifiant notamment les rôles respectifs de la base et du cation Ca^{2+} (figure 2). Au-delà des effets directs sur la phase solide du sol et la solution, le chaulage se caractérise surtout par des effets indirects sur les propriétés du sol, variables selon les pH de départ.

En résumé, un amendement basique calcique (Groupe Chaulage du Comifer, 1995) :

- améliore la stabilité structurale en modifiant la dynamique de l'eau et provoquant la floculation des colloïdes,
- diminue les risques de toxicité de l'aluminium et parfois du manganèse ou d'autres éléments traces métalliques, et améliore de façon concomitante la biodisponibilité du phosphore et du magnésium,
- augmente l'activité de la biomasse microbienne avec des répercussions sur le turn-over de la matière organique (Kockmann, Fabre et Chaussod, 1990).

Les effets du chaulage peuvent être évalués sur des objets de taille très différente (de l'agrégat au sol en place) :

- par des études en laboratoire basées sur des mesures normalisées ou des tests en conditions contrôlées, reproductibles. Citons en particulier les analyses de terre, les tests de stabilité structurale (Henin, Gras et Monnier, 1969 ; Boiffin, Guérif et Stengel, 1990), les mesures de biomasse microbienne (Chaussod, Houot, 1993) ;
- par des observations et contrôles au champ, souvent en se référant à des méthodes qualitatives pour caractériser des états et des comportements du sol et du peuplement, par exemple, le suivi des états de surface (Boiffin, 1984) et le guide méthodique du profil cultural (Gautronneau et Manichon, 1987).

Les conditions d'extériorisation au champ

Les répercussions du chaulage sur les comportements du système sol-plante, au champ, sont très contingentes de certaines conditions. Illustrons par deux exemples, issus de travaux expérimentaux.

Fabre et Kockmann (1987) ont mis en évidence que l'impact du chaulage sur la battance, la prise en masse et la praticabilité du terrain, varie en amplitude selon la pluviosité, le fonctionnement hydrique du sol et l'état du profil cultural au semis (tableau 2 a et b).

L'autre exemple concerne l'interaction du chaulage avec la fertilisation azotée. Kockmann et Fabre (1988) observent en limons bat-

tants sur orge d'hiver, que l'effet du chaulage sur les composantes du rendement ne se vérifie que si la culture a reçu une fertilisation azotée; dans la parcelle chaulée et fertilisée, le rendement est meilleur. L'interaction azote-chaulage est ici positive (tableau 3). Inversement, Lemoine et Dupic (1937) montrent que l'effet du chaulage, sur le rendement de la betterave sucrière, est plus fort en l'absence de fumure azotée minérale. La parcelle (ancienne prairie, fortement amendée par des engrais de ferme depuis sa remise en culture) a une teneur en matière organique élevée. La conduite en azote minéral limitant permet d'extérioriser une minéralisation de la matière organique, meilleure après chaulage. Nous tirons de ces deux exemples que pour mettre en évidence l'effet du chaulage sur les fournitures en azote du sol, les apports azotés ne doivent être ni trop importants ni trop faibles. La conduite de prairies en alimentation azotée limitante, permet à Peltier, (2002) d'extérioriser cet effet sur prairies.

Les effets indirects du chaulage ne se manifestent donc au champ que dans certaines conditions. (Kockmann et Fabre, 1987), en particulier (figure 3), pour les limons battants :

- le climat, selon que la pluviosité est forte ou faible, la battance aura ou n'aura pas lieu,
- l'état structural initial, par exemple, un lit de semences trop affiné, ou une zone trop tassée subiront rapidement des excès d'eau;
- l'état hydrique, le statut acido-basique ont un rôle dans l'extériorisation des modifications des propriétés;
- les conduites des autres techniques comme la fertilisation azotée.

L'AGRONOME, FACE À L'ACQUISITION DE RÉFÉRENCES

Lorsque dans une région, le diagnostic sur les risques de l'acidification conclut à la nécessité de développer le chaulage, l'agronome peut, au-delà du simple transfert des acquis, chercher à consolider le référentiel sur les états à atteindre et les moyens de les conserver. Il est alors primordial de bien cerner les objectifs, en situant avec clarté l'échelle d'étude: la parcelle, l'exploitation agricole, voire demain le bassin versant (tableau 4).

Le chaulage, modifiant les propriétés du sol, entraîne aussi une évolution des aptitudes culturelles du milieu. Ces dernières ont pour révélateurs, d'une part le rendement, son élaboration et sa régula-

rité, d'autre part les coûts et conditions d'emploi des techniques de production (Boiffin et Sébillotte, 1982). La fonction de l'agriculture dans la gestion de l'environnement (de plus en plus mise en avant) nous invite à intégrer dans la réflexion les conséquences du chaulage sur la qualité du milieu environnant et les externalités.

Démarche à l'échelle de la station culturale ou de la parcelle

Choix des révélateurs des effets indirects

Dans le cas du chaulage, mis à part des phénomènes de toxicité (Al, Mn) ou de carences (Mo), le rendement seul ne constitue pas un indicateur pertinent, dans la mesure où son élaboration est un processus long, résultant de multiples facteurs et conditions. Le rendement, bon outil de dialogue avec l'agriculteur, est en réalité une variable de réponse trop lointaine, car certains éléments peuvent occulter l'extériorisation des effets du chaulage.

Cela confirme la nécessité de rechercher les révélateurs, complémentaires du rendement, mais plus pertinents et explicatifs, de l'effet du chaulage à cette échelle :

- Les composantes de rendement, en particulier, la levée souvent sensible à la battance, estimée par le nombre de pieds/mètre carré;
- la nutrition minérale et hydrique par l'intermédiaire entre autres de l'amélioration de la colonisation racinaire, de la meilleure disponibilité des éléments minéraux; estimée par les indices de nutrition et l'observation du système racinaire;
- l'état sanitaire, la flore, la présence ou l'absence de zone de carences ou de toxicité peuvent être aussi des révélateurs de l'effet du chaulage;

L'expérience montre tout l'intérêt de réaliser un bilan après quelques années, pour réajuster le protocole, en modifiant les variables mesurées et en les hiérarchisant, intégrant par là même les progrès de la recherche.

Modalités dans la gestion des essais

La recherche de références, au champ, nécessairement pluriannuelle, est à concevoir en adaptant les itinéraires techniques des parcelles chaulées et non chaulées (Reau *et al.*, 1996). En effet, la conduite des cultures dans les essais se fait généralement « toutes choses égales par ailleurs ». L'expérimentateur lève tous les facteurs limitants autres que celui qui est testé. Le chaulage, jouant sur les conditions de cultures, induit des modifications des techniques appliquées qui permettent d'en extérioriser les effets. Une condui-

Tableau 1 - Importance du chaulage vis à vis de la stabilité et de la circulation de l'eau (ITCF, 1997, p 24)

Table 1 - Importance of liming on soil structure stability and water movment.

Limons battants	Céréalières cultures d'automne	Céréalières cultures de printemps	Elevage	Betteraviers
Hydromorphes	Forte	Forte	Forte ou Faible	Forte
Sains	Faible	Forte	Faible	Forte

Tableau 2a - Effet du chaulage sur la réduction de la praticabilité du terrain**Table 2a** - The effect of liming on trafficability reduction

Pluviosité en automne ou printemps		
	Faible	Forte
Drainé	Nul	Faible à nul
Hydromorphe	Faible à fort	Fort

Tableau 2b - Effet du chaulage sur la réduction de la reprise en masse**Table 2b** - The effect of liming on soil degradation

Profil au semis	Terrain drainé		Terrain hydromorphe	
	Dégradé	Non dégradé	Dégradé	Non dégradé
P Hiver Printemps forte	Nul	Fort	Nul	Nul
P Hiver Printemps faible	Nul	Faible à nul	Nul	Faible

Tableau 3 - Interaction chaulage et fertilisation azotée**Table 3** - Liming and N fertilisation interaction

Lemoine, Dupic, 1937	Betteraves 1935		Betteraves 1937	
	0 CaCO ₃	CaCO ₃	0 CaCO ₃	CaCO ₃
0 N	100	121	100	109
100 N	100	108	100	106

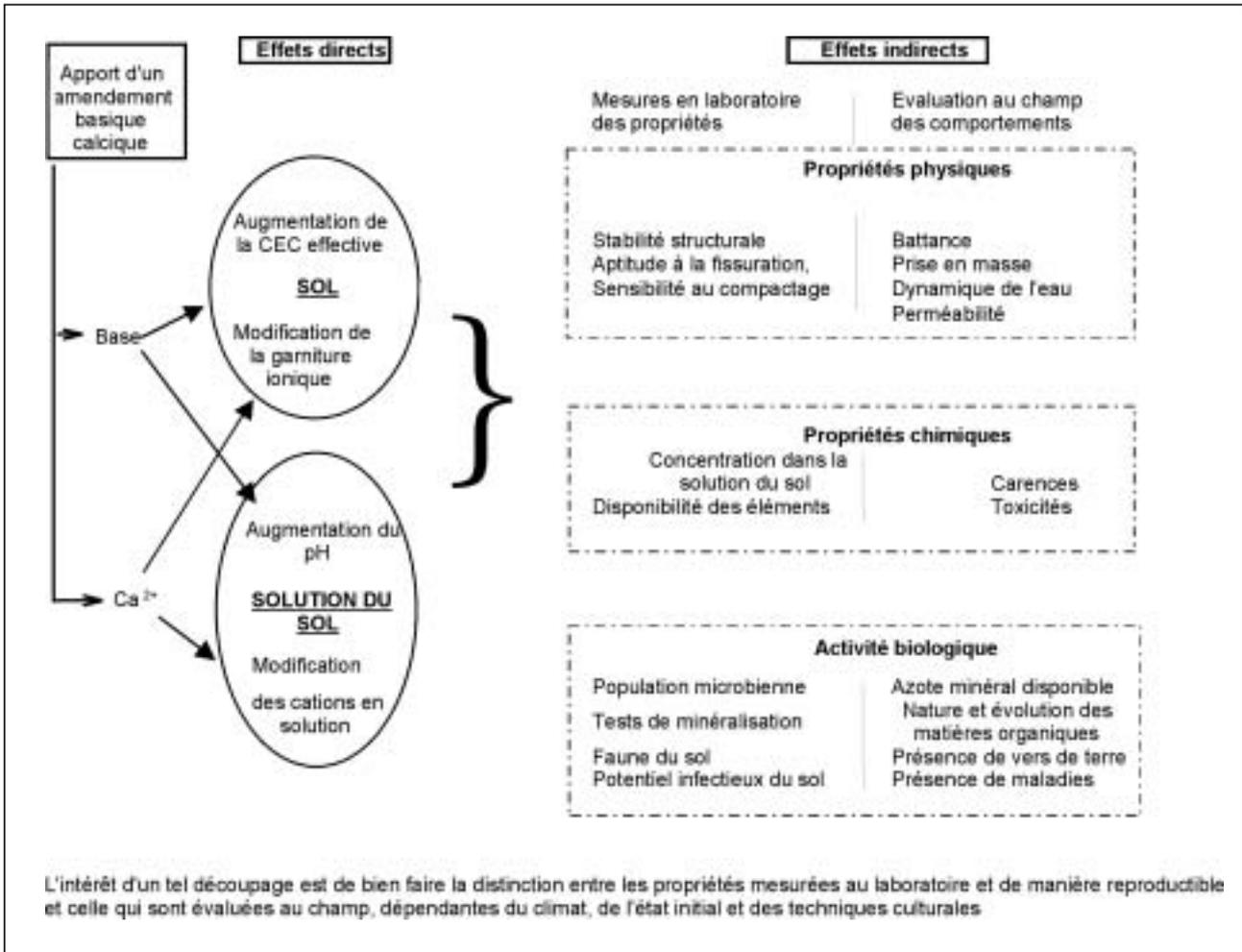
Blé, 1987	Nombre de grains/m		Poids de grains/m	
	0 CaCO ₃	CaCO ₃	0 CaCO ₃	CaCO ₃
0 N	1268	1214	53,9	52,6
Avec N	1527	1853	63,5	77,6

Tableau 4 - Les conséquences du chaulage aux différentes échelles d'étude**Table 4** - The consequences of liming at different scales of study

Propriétés du sol	Effets sur le peuplement	Effets sur les pratiques et sur les stratégies	Effets sur l'environnement
Propriétés physiques	- Levée - Colonisation racinaire - Alimentation hydrique	- Dates d'intervention - Souplesse d'intervention - Conduite de l'irrigation - Stratégies d'équipement et d'aménagement	- Infiltration - Ruissellement - Erosion - Lixiviation - Risques de pollution
Activité biologique	- Etat sanitaire - Adventice	Politiques de protection	- Minéralisation des produits organiques
Propriétés chimiques	- Nutrition minérale - Toxicités et Carences	- Doses de fertilisants - Choix de cultures	- Eléments traces métalliques
	Rendement	Coûts de production	Coût environnemental
Echelle d'étude	- Parcelle - Station	- Exploitation agricole - Parcelle	- Bassin versant - Parcelle

Figure 2 - Répercussions d'un amendement basique calcique sur les propriétés du sol.

Figure 2 - The effects of a basic, calcic enrichment on soil properties



te toutes choses égales par ailleurs a bien des chances de ne rien montrer de ces effets indirects (par exemple, une fertilisation azotée non limitante n'extériorise pas l'augmentation des fournitures en azote du sol). L'itinéraire technique doit être cohérent avec les modifications des propriétés du sol.

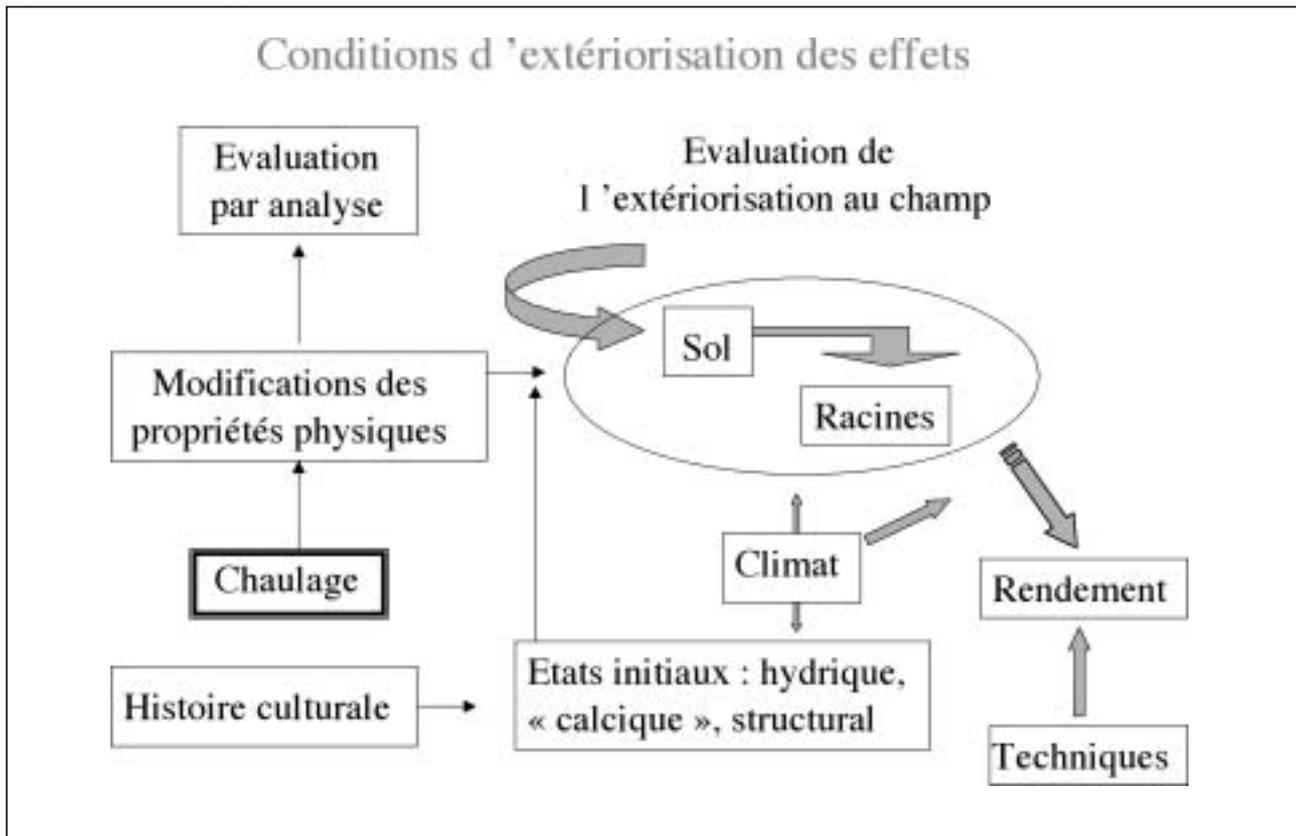
Le choix des sites est très important dans la mesure où les caractéristiques intrinsèques (texture, fonctionnement hydrique...) ainsi que l'état initial conditionnent la représentativité des observations diagnostiques et l'extrapolation des résultats obtenus.

Des combinaisons entre enquêtes et expérimentations offrent la possibilité de mieux prendre en compte la diversité régionale des situations et par là, d'accroître la richesse des résultats, sous réserve toutefois de bien caractériser les états initiaux d'une part et de mobiliser des connaissances pluridisciplinaires dans l'interprétation des résultats d'autre part.

Démarche d'analyse à l'échelle de l'exploitation agricole

Choix des révélateurs

L'amélioration de la perméabilité du sol influence favorablement la praticabilité du terrain et augmente les jours disponibles pour telle ou telle opération. Elle pourra donc se faire à la date optimale, avec un risque moindre de gâchage de la structure. Cet effet se fera sentir aussi sur l'organisation du travail dans l'exploitation et le choix des équipements. De même, l'amélioration de la profondeur d'enracinement et de la rétention de l'eau, peut modifier les doses d'irrigation et les tours d'eau. L'amélioration de la disponibilité des minéraux (Voplakal, 1997), en particulier la biodisponibilité du phosphore, l'augmentation de la minéralisation de la matière organique ainsi que la meilleure colonisation racinaire conduisent à réviser les stratégies de fertilisation (Peltier, 2002). De même, le développement

Figure 3 - Difficile liaison chaulage – rendement**Figure 3 -** Liming – crop yield, a slack binding

de certaines maladies peut être atténué ou aggravé (Höper et Alabouvette, 1996), par le chaulage et donc conduire à des politiques de protection différentes.

Ces effets du chaulage doivent (si possible) être évalués financièrement, pour mesurer l'intérêt de la pratique.

Conception des dispositifs

La transposition des résultats issus des essais à la globalité d'une exploitation, en particulier en terme de marges et de risques pose problème. En effet, la gestion même des itinéraires techniques dans la majorité des essais fait que ni les économies d'intrants, ni l'impact sur la praticabilité du terrain et l'organisation du travail, induits par le chaulage, ne sont réellement abordés. Ce constat souligne la nécessité de mettre en place des essais types itinéraires techniques et règles de décision (Reau *et al.*, 1996).

Par analogie à une étude conduite pour mesurer l'impact du drainage sur les jours disponibles et l'organisation du travail (Guillot *et al.*, 1995), il serait intéressant d'évaluer, au niveau d'un réseau de parcelles-guide, les gains de praticabilité induits par le chaulage. On utiliserait ensuite ces références comme base pour simuler, sur une exploitation, le déroulement des travaux sous différents scénarios

climatiques à partir de règles qui visent à utiliser au mieux les conditions d'état hydriques du sol. Un logiciel, OTELO (Papy, 1993) permet de mener à bien une telle approche. Les résultats des simulations autoriseraient à discuter l'intérêt du chaulage en intégrant le fonctionnement global de l'exploitation (assolement, agro-équipement, organisation du travail). En multipliant les cas types, on bâtirait alors des références locales éclairantes pour les agriculteurs.

Une autre piste serait de comparer, à l'intérieur d'une petite région, des exploitations identiques (orientation, structure, milieu) mais gérées selon des modèles d'action différents, on focaliserait la comparaison au niveau des différents révélateurs, sous l'angle technico-économique.

A l'échelle du bassin versant

L'analyse des effets du chaulage est la moins avancée. Cependant, quelques constatations montrent l'intérêt de cette échelle d'approche :

- la diminution de l'infiltration par modification de la structure peut augmenter les impacts sur l'érosion (Roth *et al.*, 1986 ; Goulding et Blake, 1998) ;
- l'acidification sous forêt conduit à une augmentation de la teneur

en aluminium des ruisseaux qui deviennent toxiques pour les poissons. L'insolubilisation des éléments traces métalliques, en particulier l'aluminium (Robert 1995) peut limiter les effets négatifs sur les eaux, avec des conséquences fortes sur la faune en particulier, (Boudot et Herbillon, 1993) ;

- l'augmentation de l'activité de la biomasse microbienne joue aussi sur les molécules organiques d'origine anthropique. Houot *et al.*, (2000) montrent que le pH est la variable la plus explicative de la minéralisation par incubation de l'atrazine. Elle augmente rapidement à partir de pH 6,5 jusqu'à un plateau à pH 7,5. Ceci permet une forte diminution des résidus de ce désherbant dans les sols, d'autant plus que la sorption de cette molécule est plus forte à pH bas ;

- Les valeurs basses du pH, (Berthelin et Leyval, 2000) augmentent la mobilité des cations et diminuent celle des anions. Juste et Solda, (1988) constatent, sur une culture de ray-grass italien, avec un sol de pH de 5,8 au départ, qu'un apport de CaCO_3 (4 t/ha), augmente le pH à 7,4. Il s'ensuit une forte diminution des concentrations en Cd dans la plante. L'apport de CaCO_3 a donc produit une forte diminution de la biodisponibilité du cadmium. De plus, Cu, Cd, Zn et Pb peuvent, selon les teneurs et la spéciation du métal, ralentir voire inhiber la minéralisation de l'azote, la fixation symbiotique, la dénitrification et diverses activités enzymatiques. Ceci explique l'accumulation de matières organiques dans les sols fortement contaminés. L'apport d'amendements basiques calciques permet donc une réhabilitation des sols pollués, (Didier, Mench *et al.*, 1993).

Le manque de références sur ce thème fait que l'on ne prend pas en compte ces différents aspects qui deviennent actuellement primordiaux dans la gestion des pratiques agricoles. Le moindre ruissellement et la résistance à l'érosion (Castro Fo et Logan, 1991), ou encore le rôle du chaulage sur les éléments traces sont des effets positifs qu'il conviendrait de tester et mesurer à cette échelle.

EN CONCLUSION, UNE DÉMARCHE DE CONSEIL SUR L'EXPLOITATION

L'agriculteur est en réalité toujours confronté à l'établissement d'un compromis entre une préoccupation technique, raisonnée à la parcelle et le jeu des contraintes notamment de logistique ou de simplicité, résultant du marché et du fonctionnement global de l'exploitation. Le rôle du conseiller est bien d'apporter une aide à l'agriculteur pour construire le meilleur compromis possible entre les différentes logiques, même si le référentiel régional est composite et incomplet.

Nous suggérons la démarche suivante, caractérisée par une double exigence :

- porter un diagnostic agronomique sur l'exploitation, c'est-à-dire :

- connaître la fertilité des sols, et là, une pratique ciblée et périodique de l'analyse de terre, véritable outil de gestion, est inté-

ressante ;

- connaître aussi les terrains, c'est-à-dire leurs comportements aux champs sous l'action des outils et du climat, et là, le tour de plaine reste irremplaçable. (figure 4) ;

- écouter et comprendre le modèle d'action de l'agriculteur, pour mieux saisir « les bonnes raisons sous-jacentes à ses pratiques », et par là, proposer des solutions recevables, intégrant notamment ses contraintes logistiques., ses objectifs économiques, et corrigeant les éventuelles idées fausses sur le chaulage.

Par ailleurs, le conseil dans la mesure où il touche à la fertilité du milieu, est :

- d'une part, à mettre en perspective, sur le « temps long ». Ce sont les choix stratégiques, en particulier les priorités au niveau des parcelles, la gamme de produits adaptés aux terrains mais aussi aux contraintes en équipement, le rythme des apports en relation avec le choix des intercultures pour réaliser les travaux d'épandage ;

- d'autre part, à réfléchir aussi sur le « temps rond », (qui se reproduit d'une année sur l'autre), ce sont les choix tactiques, interférant sur le pilotage des autres techniques, en particulier la fertilisation azotée et phosphorique, et se concrétisant par le bon de commande en adéquation avec le plan de chaulage prévu.

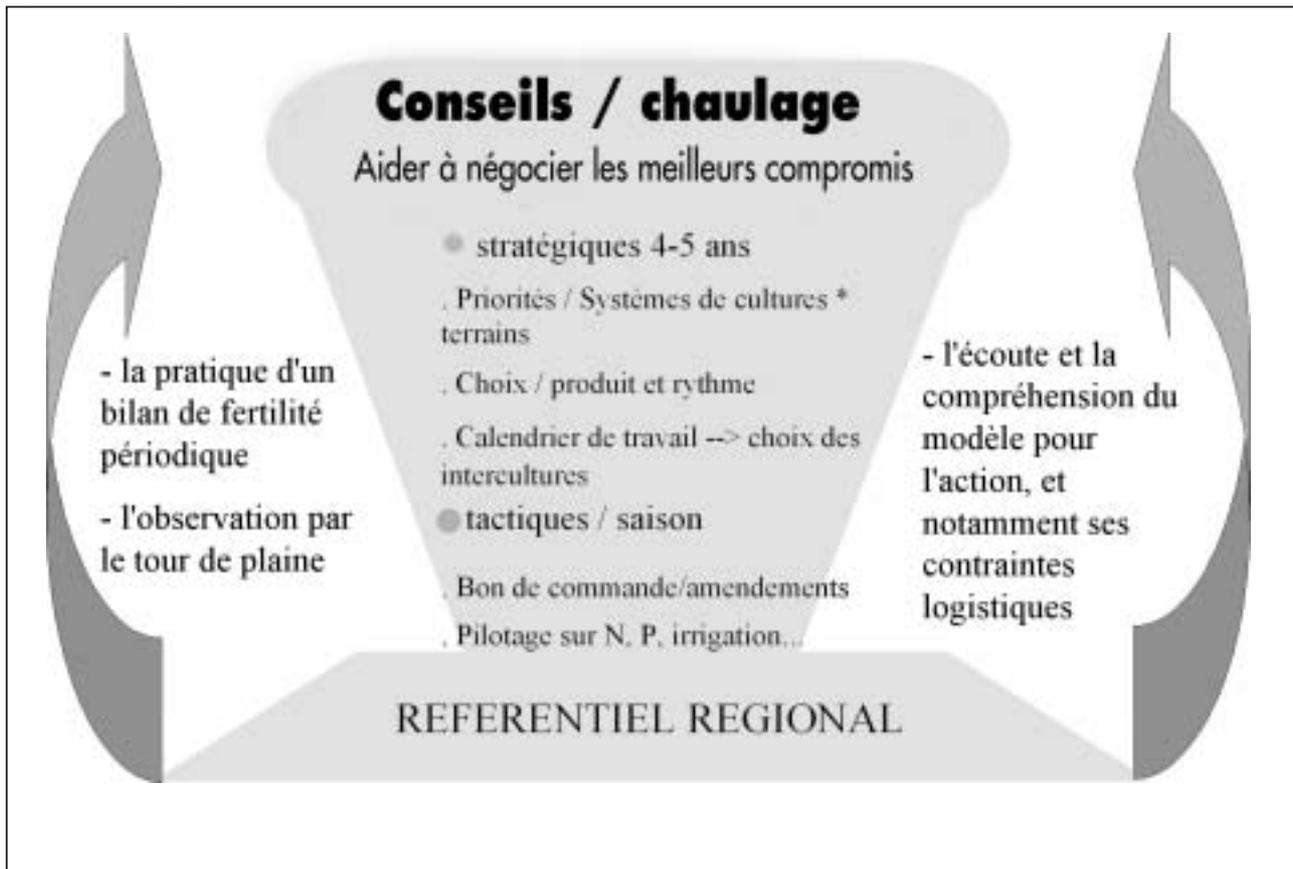
La mise en place de l'agriculture raisonnée met en relief l'intérêt de la démarche ainsi déclinée à différentes échelles. Elle est appelée à se généraliser dans la procédure de qualification des exploitations et constitue par ailleurs une réelle opportunité pour le développement du chaulage, améliorant les conditions d'utilisation des facteurs et induisant par là des économies en intrants. A ce titre, pourquoi ne pas le mentionner dans les cahiers des charges, comme un élément important d'une conduite raisonnée des systèmes de culture ? Cette perspective justifie les investissements à consentir pour l'amélioration du conseil en chaulage, qui passe par deux voies, d'une part l'explication des mécanismes et des effets à différentes échelles par des spécialistes tant en Sciences du sol qu'en Agronomie et d'autre part la quantification des conséquences *in situ* et localement, pour chiffrer les avantages et inconvénients tant pour l'agriculteur que pour l'environnement.

BIBLIOGRAPHIE

- Berthelin J., Leyval C., 2000 - Contamination des milieux par les éléments en traces. Les conséquences sur les sols et les eaux superficielles, Cr. Acad. Agri. Fr., 2000, n° 3, 25-38.
- Bouthier A. Le Souder C., Castillon P., 1997 - Chaulage et fertilisation magnésienne, ITCF, 44 pages.
- Boiffin J., 1984 - La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies, thèse INA P-G, 320 pages.
- Boiffin J., Sebillotte M., 1982 - Fertilité - Potentialité - Aptitudes culturales. Signification actuelle pour l'agronomie, BT1, 370-372, 345-353.
- Boiffin J., Guérif J., Stengel P., 1990 - Les processus d'évolution de l'état structural du sol ; Quelques exemples d'études expérimentales récentes, In La structure du sol et son évolution, Laon France, Ed. INRA, Paris, 1990, Les colloques de l'INRA n°53.

Figure 4 - La démarche de conseil sur une exploitation

Figure 4 - Advice process on a farm



Boudot J.-P., Herbillon A., 1993 - Acidification des écosystèmes et toxicité de l'aluminium - données générales et procédés de restauration, *In Forêts et amendements calcaires*, INRA, Nancy, pp. 103-112.

Castro Fo C., Logan T.J., 1991 - Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian Oxisols, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55, pp 1407-1413.

Chaussot R., Houot S., 1993 - La biomasse microbienne des sols. Perspectives d'utilisation de cette mesure pour l'estimation de la fourniture en azote par les sols, *In Matières organiques et agriculture*, Gemas Comifer, pp. 17-26.

Coppenet M. 1956 - Le problème du chaulage à la lumière de la science agronomique moderne, CELAC, 32 pages.

Didier V., Mench M., Gomez A., Manceau A., Tinet D., Juste C., 1993 - Réhabilitation de sols pollués par le cadmium - évaluation de l'efficacité d'amendements minéraux pour diminuer la biodisponibilité du Cadmium, *Acad Sci*, 316 - III, pp. 83-88.

Fabre B., Kockmann F., 1987 - Relance du chaulage en Bresse chalonnaise - Mise en place d'un protocole d'étude et premiers résultats. B.T.I. N°416, 3-19.

Gautronneau Y., Manichon, H., 1987 - Guide méthodique du profil cultural, ISARA Lyon, 70 pages.

Goulding K. W. T., Blake L., 1998 - Land use, liming and the mobilisation of potentially toxic metals, *Agriculture, ecosystems and environment*, 67, pp. 135-144.

Groupe Chaulage du COMIFER, 1986 - Etat calcaire des sols et fertilité - Le chaulage, ed ACTA, 166 pages.

Groupe Chaulage du COMIFER, 1995 - Comment bien fertiliser en grandes cultures - Les amendements minéraux, *In Analyser et fertiliser en toutes connaissances*, GEMAS-COMIFER, pp. 135-148.

Groupe Chaulage du COMIFER, 2000 - Du laboratoire au champ - Questions vives sur le chaulage, 8 pages.

Guillot C., Morety P., Bouillot JF., Lalanne E., Kockmann F., 1995 - Faut-il continuer à drainer ? Hydromorphie, jours disponibles et organisation du travail en Bourgogne. Opération de Secteur de références Drainage - Chambre d'Agriculture de Bourgogne - Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire, avec la collaboration scientifique de F. Papy (INRA SAD), 28 pages.

Henin S., Gras R., Monnier G., 1969 - Le profil cultural (2e édition), Masson éd. Paris, 332 pages.

Höper H., Alabouvette C. 1996 - Importance of physical and chemical soil properties in the suppressiveness of soils to plant diseases, *Eur. J. Soil Biol.* 1996, 32 (1), pp. 41-58.

Houot S., Topp E., Yassir A., Soulas G., 2000 - Dependence of accelerated degradation of atrazine on soil pH *In French and Canadian soils*, *Soil biology and biochemistry*, 32, 2000, 615-625.

Juste C., Solda P., 1988 - Influence de l'addition de différentes matières fertilisantes sur la biodisponibilité du cadmium, du nickel et du zinc contenus dans un sol sableux amendé par des boues de station d'épuration, *Agronomie*, 1988, 8 (10), pp. 897-904.

Kockmann F., Fabre B., 1988 - Chaulage sur limons en Bresse, 3e Forum du COMI-

- FER, pp. 131-134.
- Kockmann F., Fabre B., Chaussod R., 1990 - Le chaulage en limons battants, Perspectives agricoles, n° 144, pp. 37-48.
- Kockmann F., Loisy C., 1995 - La pratique du chaulage - Diversité des modèles d'action, *In Analyser et fertiliser en toutes connaissances*, Gemas-Comifer, P. Duc ed., pp. 67-76.
- Lemoine, Dupic, 1937 - Influence de l'acidité sur la culture de la betterave dans les limons décalcifiés du Cambrésis., Recherches sur la fertilisation par les stations agronomiques, pp. 35-36.
- Malhi S. S., Nyborg M., Harapiak J.T., 1998 - Effects of long-term N fertilizer-induced acidification and liming on micronutrients In soil and In brome grass hay, *Soil and tillage research*, 48, pp. 91-101.
- Papy F. 1993 - Nouveau contexte, nouveau conseil, Bulletin de l'ACTA n° 50.
- Peltier O., 2001 - Raisonnement du chaulage des prairies - influence sur la production et la qualité des fourrages, ce numéro.
- Pernes-Debuyser A., Teissier D., 2002 - Influence de matières fertilisantes sur les propriétés physiques des sols - Cas des 42 parcelles de l'INRA à Versailles, ce numéro.
- Reau R., Meynard J.-M., Robert D., Gitton C., 1996 - Des essais factoriels aux essais « Conduite de culture », *In Expérimenter sur les conduites de cultures*, Comité Potentialités-ACTA, pp. 52-62.
- Robert M., 1995 - Le sol, une interface dans l'environnement, *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 1995, 81, n°8, pp. 93-105.
- Roth C.H. *et al.*, 1986 - Efeitos das aplicações de calcário e gesso sobre a estabilidade de agregados e infiltrabilidade de água em um latossolo roxo cultivado com cafeeiros, *R. Bras. Ci. Solo*, 10 - pp. 163-166.
- Sebillotte M, Soler G., Les processus de décision des agriculteurs, première partie Acquis et questions vives, *In Modélisation systémiques et systèmes agraires*, INRA, Paris, Brossier *et al.*, Eds, pp. 89-112.
- Voplakal K., 1997 - The soil profile amelioration and its consequences on the changes of the plant nutrient level In the soil, *in Fertilization for sustainable production and soil fertility*, 11th world fertilizer congress of CIEC, pp. 374-381.

Conclusions au Colloque «Acidification des Sols» avril 2001

Georges PÉDRO

Secrétaire perpétuel de l'Académie d'Agriculture de France

Membre correspondant de l'Académie des Sciences (Institut de France)

Vous m'avez demandé de dire quelques mots pour conclure ce Colloque consacré à l'acidification des sols. Je le fais avec grand plaisir, d'une part parce que cela me permet de retrouver le Centre INRA de Versailles où j'ai passé plus de 40 ans de ma vie de scientifique et en second lieu du fait que j'ai toujours été sensibilisé par ce genre de problèmes en raison de mon constant intérêt pour la conception géochimique et agro-géochimique de l'évolution des systèmes-sols au sein de la biosphère.

Je souhaiterais commencer par remercier tous les intervenants et féliciter les organisateurs, D. TESSIER en particulier, ainsi que les différents Organismes - publics ou privés - qui ont bien voulu apporter leur soutien à cette réunion. Il est de fait que la participation conjointe de scientifiques et de praticiens à ce Colloque est de très bon augure - même si cela n'est pas toujours facile à réaliser -car comme le dit le vieux dicton :

« Si la pratique sans la science est un vain effort,

La science sans la pratique, elle, est un vain trésor »

Au demeurant, je voudrais commencer par dire que je suis quand même un peu étonné de constater qu'en ce début de 3^e millénaire, on soit encore amené à évoquer un phénomène, qui se trouve être dans la nature des choses, pour un pays comme le nôtre situé dans la zone tempérée humide du globe. On sait en effet que la majorité des sols de France sont à tendance acide. Franc de Ferrière avait présenté une carte du pH des sols de France au 1/1 000 000, qui montrait bien ce fait dès 1947, même si ce document était en lui-même peu précis.

De concert avec Sylviane Scherer, en partant d'une interprétation géochimique de la carte pédologique de France au 1 000 000 (1960), nous avons montré en 1974 que 60 % des sols de France étaient acides, et qu'ils seraient encore plus nombreux si le substratum calcaire subsuperficiel ne représentait pas 30 % de la surface de notre territoire. Comme les phénomènes pédologiques sont de nature dynamique, nous avons déjà insisté sur le fait que la décalcification était, à plus ou moins brève échéance, inéluctable et qu'il fallait donc être attentif à ce phénomène naturel, dès lors que l'on ne voulait pas voir notre patrimoine «sol» se détériorer insensiblement. En outre, une mise en culture accélérée avec ses exportations systématiques ne pouvait qu'aggraver les choses, à moins que l'on n'y prête une attention particulière en procédant à une recharge régulière des

terres à l'aide d'amendements calciques.

En 2001, nous voilà revenus vers la case départ, en sorte que ce qui paraissait devoir être considéré comme une évidence à un moment donné peut tomber rapidement dans l'oubli. Cela résulte du fait que notre époque tend souvent à se focaliser sur l'étude de phénomènes aigus, qui apparaissent brutalement à un moment donné mais qui en définitive ne sont la plupart du temps que très épisodiques ! Or, ce n'est pas du tout le cas de l'objet de ce Colloque. L'Académie d'Agriculture de France avait été consciente de l'acuité de ce problème récurrent et avait organisé à cet effet une séance en 1999 qui tout, en tenant compte des derniers acquis de la science, avait mis l'accent sur l'intérêt de la prise en compte en permanence de ce phénomène lancinant (D. Tessier, 1999).

Pour ce genre de problème, comme souvent pour beaucoup de choses courantes, on en revient toujours à Boileau :

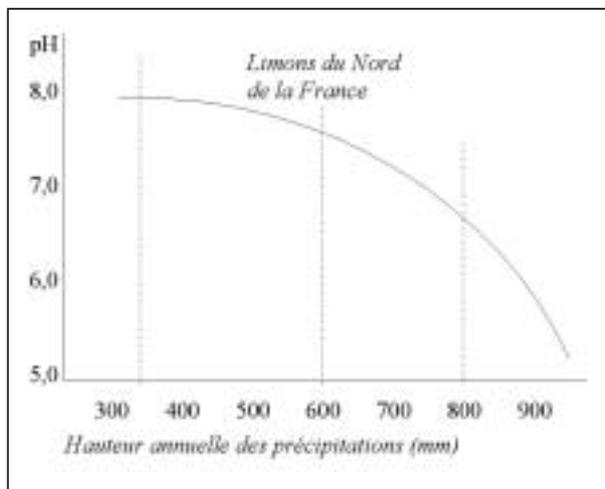
« Cent fois sur le métier, remettez votre ouvrage,

Polissez le sans cesse et le repoussez »

C'est ce que vous avez tenté de faire avec succès au cours de ces deux journées. A l'issue de vos travaux, il me semble que les

Figure 1 - Variations de pH des sols de limons dans la zone tempérée d'après Jenny.

Figure 1 - pH variations of loamy soils in the temperate climate area.



deux points fondamentaux sur lesquels il me paraît bon d'insister sont les suivants :

1. L'acidification, et donc la décalcification, constitue dans nos régions un phénomène inéluctable pour des causes d'origine bioclimatique, mais aussi pour des raisons en relation avec les activités anthropiques d'ordre agricole ou forestier.

2. La capacité d'échange des sols est aujourd'hui un paramètre clé de la connaissance des sols, de leur évolution et du maintien de leur intégrité.

Ces deux points sont en effet capitaux, non seulement en vue de promouvoir une agriculture qui soit dans le même temps moderne et durable, mais aussi pour protéger le patrimoine sol en tant que ressource majeure de l'humanité. La protection de l'intégrité des sols constitue en effet un problème qui concerne l'ensemble des citoyens, les agriculteurs naturellement mais aussi tous ceux qui ont à vivre dans un environnement qu'ils souhaitent ne pas voir se dégrader.

A la suite de cette revue, nous tenterons de conclure brièvement en mettant l'accent sur quelques enseignements plus généraux.

L'acidification des sols dans nos régions constitue un phénomène inéluctable

Ceci nous amène à commencer par brosser un tableau général à propos des relations entre les caractéristiques bioclimatiques, la géochimie des sols et leur réactivité physico-chimique.

Si on se réfère aux seules données bioclimatiques, il existe schématiquement 3 grandes situations à la surface du globe :

- La situation d'équilibre où l'évaporation est peu différente des précipitations ($E \sim P$) conduit aux sols de type *tchernozem*, spécialement riches, développés sur loess et sous une végétation steppique dense.

La pluviométrie de ces régions a été durant les derniers millénaires, *suffisante* pour provoquer à la fois une altération des minéraux primaires par de l'eau chargée en CO_2 au contact de l'atmosphère et en même temps une accumulation de matière organique évoluée avec individualisation d'un vrai sol isohumique, mais par ailleurs *insuffisante* pour qu'il y ait eu entraînement des éléments minéraux (nutritifs et autres) en profondeur.

- Si on s'intéresse maintenant aux zones plus arides marquées par un déficit pluviométrique régulier ($E > P$), il est clair que l'altération devient plus faible et le développement de la végétation plus aléatoire. Les éléments minéraux libérés circulent peu et se concentrent à la longue dans les zones basses du paysage, avec augmentation du pH des sols et même dépôt de sels minéraux calcaire, sulfates (croûte calcaire, croûte gypseuse...).

En Tunisie, en dessous de la dorsale tunisienne, on peut observer par exemple une disposition latitudinale particulièrement frappante à cet effet.

Ce qui compte en définitive dans ce genre d'évolution, c'est

- l'agressivité pluvio-thermique du climat (P et t),
- la présence ou non d'une réserve minérale dans les sols,

- l'existence de sols plus ou moins tamponnés suivant leur constitution,

- la durée de l'évolution,

- enfin, l'intensité des prélèvements en relation avec les modes d'agriculture étant entendu que les agricultures les plus modernes entraînent dans le même temps une diminution de la teneur en matière organique des sols.

D'où l'intérêt de dispositifs, comme les 42 parcelles de Versailles que vous avez pu visiter lors de ces journées, pour suivre de tels phénomènes et pouvoir les mesurer ; nous y reviendrons, mais disons déjà merci à A. Demolon. Naturellement, les tentatives de modélisation peuvent aider à notre époque à comprendre les évolutions des choses en fonction du temps. Il n'en reste pas moins que les données acquises au cours de ces expérimentations continues sont souvent irremplaçables.

la troisième situation n'est pas décrite

Capacité d'échange, pH des sols, problème de l'aluminium actif et conséquences sur la décalcification des sols

Dans un sol, il existe *grosso modo* 3 compartiments qui sont en inter-réaction :

- Constituants primaires (minéraux et organiques) en général grossiers et qui évoluent lentement.

- Constituants secondaires (minéraux et organiques), qui sont réactifs, du fait qu'ils sont fins, donc développant une grande surface, hydratés et chargés négativement superficiellement.

- Solution du sol.

Le compartiment spécifique du sol est le second, qu'on a désigné sous le nom de "complexe absorbant" mis en évidence par Th. Way en 1850 ; celui-ci en effet est susceptible de retenir des cations pour assurer l'électroneutralité du système solide (tout ce qui n'est pas neutre est instable dans la nature), et d'échanger les cations de sa surface en fonction de la composition de la solution de contact.

C'est le phénomène d'échange en cations qui s'avère être un élément fondamental de l'existence même de la biosphère, dans la mesure où il assure la régulation de la nutrition minérale des plantes et celle de leur alimentation hydrique. On a pu dire à ce propos que l'échange des cations était la 2^e loi fondamentale de notre planète, la première naturellement étant constituée par la photosynthèse.

A partir de là, le problème qui se pose à nous vient du fait que si la capacité d'échange constitue une donnée fondamentale, sa mesure n'est pas évidente et se trouve être essentiellement de type empirique. Pourquoi un tel constat ?

Dans la connaissance de la capacité d'échange, on peut distinguer 3 étapes :

(1) Les études chimiques en vue de sa détermination globale, avec les travaux de D.J. Hissink (1925) en particulier, conduisent à évaluer la CEC=T en méq/100 g ; puis à déterminer le taux de remplissage S par des cations, tels Ca, Mg, Na et K ; le reste étant assigné à des ions H⁺: d'où l'apparition de la notion de *taux de saturation* S/T. Celui-ci a certes bien des limites ; il a eu le mérite toutefois de faire une première discrimination entre les grands types de sols. Des pédologues renommés, tels que K.K. Gedroïz en 1928, ont même proposé une classification générale des sols basée sur le taux de saturation.

(2) On a constaté que la valeur de T variait avec le pH, ce qui a conduit à distinguer :

- des charges *permanentes* (qui dépendent de la structure interne des solides ; cas des minéraux argileux 2/1 notamment) ;
- des *charges variables* avec le pH ; cas des autres minéraux argileux (1/1, allophanes) et de tous les constituants humiques.

Or, pour expliquer le pourquoi des choses, on s'est beaucoup préoccupé des charges permanentes, plus faciles à appréhender que les charges variables. Pourtant on sait bien que la CEC des matières organiques liées est plus élevée que la CEC des argiles 2/1 ; d'où l'intérêt à notre époque de se consacrer à une étude plus en profondeur de cette CEC organique et, d'une manière plus générale, des charges variables.

(3) La connaissance de l'évolution des argiles 2/1 à charges permanentes (*high activity clays*) en conditions acides : problème des argiles H⁺, présence d'aluminium échangeable...

Toutes les argiles en désaturation voient en effet leur environnement superficiel s'acidifier. Dans le cas des kaolinites (sols tropicaux) qui sont peu chargées et très stables thermodynamiquement, l'évolution souvent ne va pas très loin. Il n'en est pas de même pour les argiles 2/1 à charges permanentes et qui sont beaucoup moins stables. Dès qu'on a pu approfondir la question, on s'est aperçu que les argiles dites H⁺ n'existaient pas ; ce qui existait, c'étaient les argiles Al (J.P. Eckman et H. Laudelout, 1961), qui de ce fait pouvaient être à l'origine d'une toxicité aluminique.

Ce type d'évolution n'est autre qu'une autolyse du feuillet 2/1, l'aluminium octaédrique passant en positions interfoliaires sous forme de cations Al hydroxyyles. C'est ce qui a donné naissance à ce qu'on a appelé les intergrades alumineux. Ceux-ci ne sont pas toujours bien définis, comme tout ce qui caractérise les minéraux 2/1 de nos sols tempérés qui constituent un monde en eux-mêmes avec des édifices de transformation plus ou moins interstratifiés et où il est difficile de faire apparaître des discontinuités significatives. C'est la raison pour laquelle l'approche basée sur la continuité texturale des évolutions est beaucoup plus performante que l'approche strictement minéralogique reposant sur la diffraction des rayons X. C'est la raison aussi pour laquelle un paramètre, tel que la capacité d'échange s'avère être (comme la surface spécifique d'ailleurs), un paramètre qui a une réelle signification, aussi bien au plan de la nature des constituants secondaires solides en cours d'évolution que de leur garniture canonique. Encore faut-il savoir comment l'appré-

hender. Les travaux récents montrent que :

- lorsqu'on veut évaluer la somme des charges superficielles (la quantité de sites chargés), c'est la CEC à pH 7 qu'il faut mesurer ;
- si l'on souhaite connaître l'état de la garniture ionique dans un sol donné, c'est la CEC effective au pH du sol que l'on doit appréhender.

Mais, en tout état de cause, la solution de nos sols par suite de l'action des climats et de leur mise en culture tend à diminuer la CEC :

- en étant à l'origine d'abord de l'abaissement du pH par suite de l'élimination des cations et de l'aluminisation ;
- en provoquant ensuite une diminution de la matière organique qui constitue un des paramètres essentiels de la capacité d'échange.

C'est en définitive la raison pour laquelle il s'avère nécessaire de chauler les sols cultivés, car le chaulage n'augmente pas seulement le taux de Ca sur le complexe d'échange, mais il accroît surtout la CEC (la CEC à pH 7 est pratiquement le double de la CEC à pH 5,5), avec toutes les conséquences que cela a sur la texture des argiles, la structuration des sols ainsi que sur leur rétention en eau.

Son action est donc double puisqu'elle est à la fois agronomique (sol facteur de production) et environnementale (soi en tant que ressource naturelle à sauvegarder pour lui-même et en vue de la protection des eaux continentales).

Tout cela a été parfaitement montré par l'évolution des 42 parcelles en 70 ans, dispositif qui s'est montré particulièrement bien adapté à l'étude de ce genre de problèmes.

CONCLUSIONS

Pour conclure ce Colloque, je souhaiterais insister sur trois éléments qui résultent de vos travaux.

1 - Lorsqu'on aborde l'étude des problèmes posés par la nature des choses et par le monde de tous les jours, il faut - après les avoir bien circonscrits investir dans les aspects fondamentaux.

Plus on procède de cette manière et plus on avance à la fois dans la compréhension des phénomènes et dans la mise en place de techniques appropriées et efficaces.

Dans l'étude des sols, il est clair qu'il faut donc continuer à faire de la science fondamentale, sans toutefois être coupé des problèmes pratiques ; ceci est impératif en vue de la protection de cette ressource et de la mise en oeuvre d'une exploitation *durable* ; d'où l'intérêt des Organismes, tels le COMIFER, qui assurent avec efficacité le relais entre la science et la pratique.

2 - En relation avec ce qui vient d'être dit, il faudrait à mon sens encore plus, dans ce genre d'activités, se débarrasser des vieilles idées de la Chimie agricole, car trop de raisonnements reposent encore sur la notion de « terre » (argileuse, sableuse, calcaire ...) représentée à travers des échantillons qu'on récolte et qu'on fait analyser. Il faudrait quand même, une fois pour toutes, à notre époque, -même dans les zones fortement anthropisées - se référer à la notion de sol, de profil cultural.

Le langage utilisé reste trop souvent encore celui qui était employé il y a plus de cent ans, alors que la science pédologique dans ses aspects géochimiques, physico-chimiques et biologiques a fait d'énormes progrès. Si l'on veut avancer, il me paraît indispensable de se débarrasser de notions aujourd'hui quelque peu dépassées, et par ailleurs d'abandonner l'idée qu'il n'y a qu'une solution scientifique qui soit applicable à tous les sols et dans toutes les régions. Ceci est tout à fait inexact, car la diversité des situations dans la nature est telle, qu'il faut toujours adapter l'approche des problèmes posés aux données du milieu.

3 - Si toutes les recherches de terrain et de laboratoire sont importantes, il faut bien garder à l'esprit qu'elles ne permettent pas d'appréhender les évolutions qui se produisent en *fonction du temps* et des modifications progressives du milieu qui en résultent.

D'où l'intérêt des essais de longue durée, comme les dispositifs de Versailles (42 parcelles) ou de Jeu-les-Bois par exemple. Je l'ai déjà dit à plusieurs reprises et en différentes circonstances, je le redis encore aujourd'hui, car de tels travaux n'ont pas très bonne presse à notre époque dans les Organismes de recherche, du fait qu'ils ne conduisent pas à des résultats rapides, qu'ils se déroulent nécessairement sur plusieurs générations et qu'ils impliquent en outre un suivi permanent et astreignant ; sans parler du fait qu'ils sont en général peu gratifiants pour les chercheurs.

Tout cela est vrai ; mais la science est un tout (en particulier les disciplines du milieu naturel) et doit être de ce fait traitée comme tel. C'est la raison pour laquelle il est indispensable de continuer à protéger les dispositifs de longue durée et de les maintenir envers et contre tout, chaque arrêt s'avérant comme catastrophique du fait qu'il ferait perdre tout l'acquis antérieur.

Enfin, n'oublions pas que ce genre d'essais a un rôle culturel inestimable dans la mesure où il relie le passé, le présent et l'avenir. Quoi donc de plus enthousiasmant pour les hommes de notre époque et, d'ailleurs en vérité, de toutes les époques

BIBLIOGRAPHIE

- Coppenet M. *et al.*, 1986 - État calcique des sols et fertilité le chaulage 1 vol., ACTA, 166 p.
- Eckmann J.P. et. Laudelout H., 1961 - Chemical stability of hydrogen montmorillonite suspensions. *Kolloid Zeit*, 178, p. 99-107.
- Espiau P. et Pédro G., 1980 - Caractérisation du complexe d'échange des sols acides - *Ann. Agron.*31 (4), p. 363-383.
- Franc de Ferrière S.,1947 - Carte schématique des pH du sol de France. Comptes rendus Conférence de Pédologie méditerranéenne Montpellier - Alger.
- Grimaldi C. et Pedro G., 1996 - Importance de l'hydrolyse acide dans les systèmes pédologiques des régions tropicales humides- *Comptes Rendus Acad. Sc.* 323, II a, p. 483-492.
- Hissink D.J., 1925 - Base exchange in soils. *Trans. Faraday Soc.* p. 551-617.
- Jenny H.,1941 - Factors of soil formation. Mac Graw - Hill - New York, 281 p.
- Pedro G. et Scherer S., 1974 - Essai d'interprétation géochimique de la carte pédologique de France (1.000.000) - Caractérisation et répartition des principaux types de milieux pédogéochimiques. *Ann Agron.* 25 (1), p. 5-48 avec une carte hors texte 1.1.750.000.

Pedro G.,1988 - Dynamique des ions dans le sol - Rôle de la CEC. Influence des grands types d'argile. Colloque AFES : CEC et fertilisation des sols agricoles, Caen, p. 13-44.

Pedro G., et Begon J.C., 1989 - Les facteurs de fertilité des sols - Grand Atlas de la France rurale - Editions J.P. de MONZA, p. 402-403.

Tessier D. *et al.*, 1999 - La capacité d'échange et son importance pour la gestion actuelle des sols - *Comptes rendus de l'Acad. Agric. France*, 85, (2) p. 150.

PUBLICATIONS ET DOCUMENTS PUBLIÉS PAR L'AFES

REVUES

SCIENCE DU SOL

Revue scientifique publiée de 1952 à 1993.
Elle comporte 300 à 400 pages par an. Un index est présenté tous les ans dans le quatrième numéro.
A cessé de paraître fin 1993. Certains numéros disponibles.

LA LETTRE DE L'ASSOCIATION

Publiée quatre fois par an, ce journal annonce les nouvelles de l'association, les réunions nationales et internationales ; il donne des critiques d'ouvrages, de thèses, de la documentation, etc.

La Lettre est envoyée à chaque adhérent de l'association : elle accompagne l'adhésion.

Rédacteur en chef : J.P. Rossignol, ENITH, Angers.

ÉTUDE ET GESTION DES SOLS

Revue trimestrielle, francophone traitant de la connaissance et de l'usage des sols.

Rédacteur en chef : M. Jamagne.

Secrétariat de rédaction : Micheline Eimberck et J.P. Rossignol.

Le Comité Éditorial est composé de trente membres de France et de pays francophones.

OUVRAGES

LE LIVRE JUBILAIRE (1984)

Point sur les acquis à cette date en matière de science du sol et de pédologie.

FONCTIONNEMENT HYDRIQUE ET COMPORTEMENT DU SOL (1984)

PODZOLS ET PODZOLISATION

par D. Righi et A. Chauvel : ouvrage publié en coédition par l'AFES et l'INRA, avec le concours du CNRS, de l'ORSTOM, et de la région Poitou-Charentes (1987).

MICROMORPHOLOGIE DES SOLS/SOIL MICROMORPHOLOGY

par N. Fédoroff, L.M. Bresson, Marie Agnès Courty, publié par l'AFES avec le concours du CNRS, de l'INAPG, de l'INRA, du Ministère de l'Environnement et de l'ORSTOM (1985) (épuisé).

CARTE MONDIALE DES SOLS ET SA LÉGENDE

Présentée sous forme de deux diapositives (1984).

LE RÉFÉRENTIEL PÉDOLOGIQUE

Principaux sols d'Europe, deuxième édition 1995. Ouvrage collectif publié par l'AFES et l'INRA.

SYNTHÈSE NATIONALE DES ANALYSES DE TERRE : PÉRIODE 1990-1994

par C. Walter, C. Schvartz, B. Claudot, P. Arousseau et T. Bouedo, avec le concours du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche.

ACTES DU XVI^E CONGRÈS MONDIAL DE SCIENCES DU SOL, MONTPELLIER - AOÛT 1998