

Représentation cartographique nationale d'un Indice cantonal d'Acceptabilité des sols à l'Épandage agricole de boues de stations d'épuration calculé à partir de la Base de Données nationale d'Analyses de Terre

Ch. Schwartz⁽¹⁾, J. Thorette^{(2) (3)} et S. Follain^{(1) (4)}

- 1) Institut Supérieur d'Agriculture, 48 boulevard Vauban, 59046 Lille cedex
- 2) INRA, US 1106, Unité Infosol, 2163 avenue de la Pomme de Pin - CS 40001 - Ardon, 45075 Orléans Cedex 2
- 3) Institut Français de l'Environnement, 5 route d'Olivet, BP 16105, 45061 Orléans cedex 2
- 4) INRA -ENSAM, UMR-LISAH - SupAgro, 2 place Viala, 34060 Montpellier cedex 1

RÉSUMÉ

L'augmentation prévisible de la production de boues de stations d'épuration pose de façon nouvelle la question de leur gestion. L'épandage agricole de ces boues est encadré par une réglementation précise et limité par les conditions techniques de sa faisabilité agronomique. A partir de ces contraintes, nous avons établi un indice visant à évaluer la faisabilité de cet épandage à l'échelle cantonale. Les informations relatives aux sols ont été tirées de la Base de Donnée nationale d'Analyses de Terre. Chaque indice étant relié à un canton, il a été possible de donner une représentation cartographique nationale de l'information obtenue.

Il apparaît que la restriction principale est induite par la réglementation qui interdit l'épandage lorsque le pH du sol est inférieur à 6. Dans le cas des boues chaulées, ce seuil est abaissé à 5 : le pH n'est alors plus un obstacle et les zone potentiellement favorables sont nettement augmentées. L'épandage des boues est alors directement concurrencé par celui des effluents d'élevage dans les régions où ils sont abondants. L'épandage agricole des boues de STEP est également compliqué par le fait que ces boues sont produites à proximité des zones urbaines et que leur transport vers des territoires plus agricoles est économiquement peu intéressant. Au bilan, il ressort que, si le chaulage est une solution nécessaire à l'établissement d'une filière solide pour la valorisation agricole des boues de STEP, il reste indispensable de mettre en place des filières alternatives complémentaires et d'envisager la gestion des déchets organiques de façon globale à l'échelle des territoires.

Cet indice doit toutefois être interprété relativement à son échelle et ne dispense pas d'une expertise à la parcelle préalable à l'épandage.

Mots clés

Boues, station d'épuration, analyse de terre, épandage, cartographie.

SUMMARY**MAPPING OF A LAND SPREADING FEASIBILITY INDEX FOR SEWAGE SLUDGE ESTABLISHED AT THE CANTON LEVEL FROM THE NATIONAL SOIL ANALYSIS DATABASE**

The expected increase of sewage sludge production poses in a new way the problem of their management. The spreading of the sewage sludge in the framework of agricultural activity is under the dependence of legal regulation as well as technical and practical aspects. From these constraints, we have built an index of feasibility for this spreading. Data related to soils have been extracted from the national Soil Analysis Data Bank. As each index is attached to a unique canton, national mapping of the results has been possible.

The main restriction comes from the legislation which forbids sewage sludge spreading if the pH of the soil is lower than 6. For limed sewage sludge, this threshold is lowered to 5 and the surfaces potentially available for this spreading are significantly increased. In this case, sewage sludge spreading competes directly with livestock farming effluents. Moreover, sewage sludge spreading is made more complicated due to its production close to urban areas which needs expensive transportation to rural areas. Finally, liming appears to be necessary to establish a safe chain for agricultural reuse of sewage sludge, but it is essential to develop complementary alternative chains and to manage on the whole the treatment of the different organic wastes produced within one given area.

However, this index should be interpreted with caution because of its scale. It does not prevent from a field scale expertise before sewage sludge spreading.

Key-words

Sewage, sludges, soil analysis, database, spreading, mapping.

RESUMEN**REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA NACIONAL DE UN ÍNDICE CANTONAL DE ACEPTABILIDAD DE LOS SUELOS PARA EL ESPARCIMIENTO AGRÍCOLA DE LODOS DE ESTACIONES DE DEPURACIÓN CALCULADO A PARTIR DE LA BASE DE DATOS NACIONAL DE ANÁLISIS DE TIERRA**

El aumento previsible de la producción de lodos de estaciones de depuración plantea de manera nueva la cuestión de su gestión. El esparcimiento agrícola de estos lodos está cuadrado por una reglamentación precisa y limitada por las condiciones técnicas de su viabilidad agronómica. A partir de estos limitantes, establecimos un índice que trata de evaluar la viabilidad de este esparcimiento a escala cantonal. Las informaciones relativas a los suelos provienen de la base de datos nacional de análisis de tierra. Como cada índice esta ligado a un cantón, fue posible dar una representación cartográfica nacional de la información obtenida.

Aparece que la restricción principal esta inducida por la reglamentación que prohíbe el esparcimiento cuando el pH del suelo esta inferior a 6. En el caso de los lodos encalados, este umbral se rebaja a 5: el pH del suelo no está más un obstáculo y las zonas potencialmente favorables aumentaron netamente. El esparcimiento de los lodos está entonces directamente concurrente con lo de los efluentes ganaderos en las regiones donde están abundantes. El esparcimiento agrícola de los lodos de STEP se complicó igualmente por el hecho que estos lodos se producen cerca de las zonas urbanas y que su transporte hacia los territorios más agrícolas está económicamente poco interesante. En balance, resulta que si el encalado está una solución necesaria para establecer un sector sólido para la valorización agrícola de los lodos de STEP, queda indispensable poner en lugar redes alternativas complementarias y prever la gestión de los desechos orgánicos de manera global a escala de los territorios.

Este índice debe no obstante ser interpretado relativamente a su escala y no dispensa de un peritaje a la parcela preliminar al esparcimiento.

Palabras clave

Lodos, estaciones de depuración, análisis de tierra, esparcimiento, cartografía.

Les services rendus par les sols aux sociétés humaines sont multiples. Hors de la fonction économique, dont la production agro-alimentaire est une des expressions les plus évidentes, les sols remplissent également des fonctions environnementales importantes, largement soulignées par la communication européenne « Vers une stratégie thématique pour la protection des sols » du 16 avril 2002. Parmi celles-ci, la fonction d'épuration, notamment vis-à-vis des effluents urbains, constitue un véritable enjeu pour nos sociétés. Sa mise en œuvre doit tenir compte de facteurs multiples tels que la maîtrise du développement des zones urbaines et les évolutions des usages de l'espace rural, mais également l'aptitude des sols à assurer un rôle de filtre.

La quantité de boues de stations d'épuration urbaines produite en France est évaluée actuellement à au moins 10 MT de produit brut par an¹ (ADEME, 2005), sachant que 1 m³ d'eaux usées domestiques donne, après traitement, 350 à 400 grammes de matières sèches. En application de la réglementation européenne, la collecte et le traitement des eaux usées se développent, ce qui entraîne un accroissement régulier des quantités de boues produites, tant à l'échelle française qu'à celle de l'Union dans son ensemble (Miquel G., 2002). Ces boues constituent un déchet, éliminé en France à 60 % par valorisation en agriculture et à 15-20 % par incinération (figure 1). Le reste est généralement mis en décharge, solution qui doit disparaître, ou même devrait avoir disparu, sauf situation particulière.

L'intérêt de ces boues pour l'agriculture vient de leur teneur en matière organique et en éléments minéraux utiles pour le sol et les plantes : elles constituent donc potentiellement un bon fertilisant. Dans certains cas, les boues peuvent être utilisées en vue d'améliorer la structure du sol afin, notamment, de réduire leur vulnérabilité à l'érosion. Leur valorisation agricole est alors une solution d'élimination élégante, aux plans économique et environnemental. Cependant, les défauts des boues liés à leur odeur, aux risques induits par la présence éventuelle d'éléments traces métalliques (ETM) ou de pathogènes, ou aux aspects pratiques de la mise en œuvre de l'épandage, réduisent fortement l'acceptabilité sociale et technique de cette valorisation agricole, malgré un encadrement réglementaire strict établi pour garantir la sécurité de cette filière de traitement.

Cependant, la pression exercée globalement sur les terres agricoles françaises ne semble pas très forte, puisque seuls 2 à 3 % de la surface labourée seraient nécessaires pour épandre la totalité des boues produites, à raison de 25 t.ha⁻¹ de matière brute. On peut malgré tout imaginer que dans les années à venir, suite à l'amélioration du taux d'épuration des eaux usées, le besoin direct en surface d'épandage pourrait doubler. Ceci n'a rien d'irréaliste,

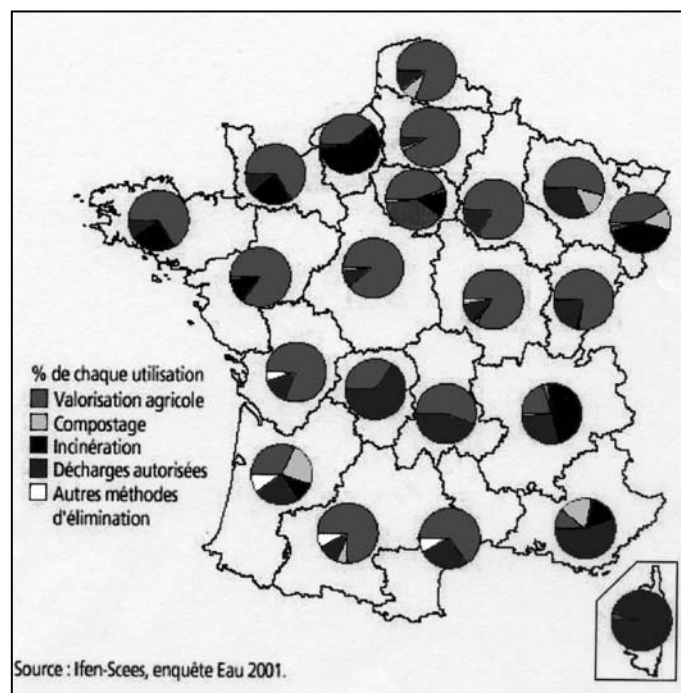
si, toutefois, les questions d'acceptabilité évoquées ci-dessus se résolvent. Dans ces conditions, et si l'on tient compte du fait qu'un délai d'au moins 4 à 5 ans sépare deux épandages consécutifs de boues sur une même parcelle, ce serait alors plus de 20 % de la surface labourée qui seraient impliqués dans cette filière de valorisation. La donne devient radicalement différente, surtout si l'on considère que les agriculteurs épandent déjà sur leurs terres des produits présentant des propriétés fertilisantes analogues, plus familiers (donc mieux acceptés) et beaucoup plus abondants, que sont les effluents d'élevage.

Dans ce contexte, nous avons voulu évaluer la répartition, à l'échelle de la France entière, de la facilité avec laquelle il était possible de trouver des terres pour réaliser cet épandage. Pour cela, nous avons pris en compte à la fois les limitations imposées par la réglementation et celles qui sont liées aux conditions techniques de la réalisation de l'épandage, fonction notamment de la capacité de pénétrer dans les champs avec des engins lourds, sans trop dégrader la structure des sols.

Parmi les différentes bases de données nécessaires pour ce traitement, la plus délicate à trouver concerne les sols. En effet, les statistiques nationales sont habituellement établies sur la base de limites administratives, et nous avons choisi ici de nous situer à l'échelle cantonale, compromis entre une approche départementale trop grossière et le pointillisme ininterprétable des 36 000 communes françaises. Or il n'existe pas encore de carte des sols de

Figure 1 - Destination des boues de STEP, par région (Coutelier, 2004).

Figure 1 - Destination of sewage sledge, for each Region (Coutelier, 2004).



¹ Soit environ 1 MT de matière sèche. Différentes sources donnent des résultats légèrement différents mais cohérents entre eux.

France exploitable dans ces conditions. Nous avons donc utilisé les informations contenues dans la Base de Données nationale d'Analyses de Terre (BDAT) qui archive les résultats d'analyse d'environ 1 million d'échantillons prélevés dans des terres agricoles et localisés par leur canton d'origine². Bien que les données utilisées soient très nombreuses, le mode d'agrégation ne permet pas de prendre en compte la variabilité à l'échelle locale.

Rappelons que les résultats d'un travail analogue ont déjà été présentés dans le cadre d'une publication de l'IFEN (Thorette J. et Schwartz Ch., 2001). Il n'avait pas été possible dans ce bref document de détailler la méthodologie utilisée, ce qui est notre but essentiel dans les pages qui suivent. De plus, les données disponibles dans la BDAT sont maintenant plus abondantes et permettent une meilleure couverture du territoire national. Les résultats obtenus ne sont donc pas exactement les mêmes que les précédents puisque les données traitées ne sont pas strictement identiques. Nous avons cependant vérifié la stabilité des résultats en nous assurant que, sur les parties communes, les résultats obtenus avec les 2 ensembles de données étaient tout à fait comparables.

CONDITIONS À REMPLIR POUR QU'UN ÉPANDAGE SOIT POSSIBLE

Faisabilité réglementaire

La France est dotée d'un dispositif réglementaire qui va au-delà des normes européennes (J.O., décret du 8 décembre 1997 et arrêté du 8 janvier 1998). Ces deux textes confirment que les boues de STEP doivent être considérées comme des déchets, régis par la loi du 15 juillet 1975, même si par ailleurs la loi du 13 juillet 1979 permet de les considérer comme une matière fertilisante. Ces dispositions interdisent l'épandage de boues ne présentant pas un « *intérêt pour les sols ou la nutrition des cultures et des plantations* » et fixent les précautions d'usage vis-à-vis de la qualité des boues et des propriétés des sols, notamment des normes relatives à leur composition et des distances d'isolement pour leur épandage.

Ainsi, outre la qualité des boues, et en particulier leurs teneurs en éléments en traces que nous ne prendrons pas en considération dans ce travail (nous n'envisageons que l'épandage de boues dont l'épandage est autorisé), la réglementation s'intéresse principalement au pH et à l'utilisation du sol, ainsi qu'à la pente et à la proximité d'habitations ou de réserves d'eau.

Faisabilité agronomique

Les contraintes techniques à l'utilisation des boues en agriculture sont de deux ordres, si l'on considère qu'à partir du moment où un épandage est réalisé, les restrictions réglementaires et sanitaires ont été levées.

La première contrainte est liée à l'efficacité agronomique de la boue épandue. Celle-ci est notamment liée à la dynamique de minéralisation de l'azote apportée et donc à la cinétique de sa mise à disposition des cultures. En outre, la valorisation agronomique de l'azote minéralisé est fortement limitée dans les sols filtrants où les risques de lixiviation et d'entraînement vers les nappes d'eau sont élevés (Duthil, 1973).

Notons que la minéralisation d'une boue est aussi très largement influencée par sa composition, liée notamment à son origine. Ce dernier aspect ne peut être pris en considération dans le cadre de cette étude à vocation générale.

La seconde contrainte correspond à la faisabilité pratique de l'épandage et aux conséquences d'un roulage dans le champ avec des engins lourds, généralement dans des conditions de forte humidité du sol, pour épandre un produit lui-même très humide. Deux difficultés peuvent apparaître dans ces conditions : le risque d'embourbement, donc d'impossibilité de mener à bien l'épandage, et surtout le risque de dégradation de la structure du sol, donc d'hypothéquer pour plusieurs années la capacité de production de la parcelle (Duthil, op. cit.).

A partir des principales de ces contraintes nous avons établi un indice permettant d'évaluer la facilité avec laquelle il serait possible de trouver des sols aptes à recevoir un tel épandage au sein d'un canton, en fonction des caractéristiques des sols analysés et de ce que nous pouvons percevoir de l'utilisation des parcelles correspondantes.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

La BDAT

La BDAT regroupe des résultats d'analyses d'échantillons de terre provenant d'horizons de surface de parcelles agricoles. Les paramètres renseignés correspondent à ceux qui sont habituellement utilisés dans le cadre de la gestion de la fertilisation raisonnée de ces parcelles. Les échantillons n'ayant pas été prélevés lors d'une prospection organisée mais selon la demande d'agriculteurs, la répartition des lieux de prélèvement n'est pas maîtrisée. Par ailleurs, la totalité des paramètres n'est pas nécessairement renseignée pour chaque échantillon, certains d'entre eux seront donc ignorés lors du traitement (Saby *et al.*, 2004).

Nous avons travaillé sur une période de 10 ans (1990-1999), afin de disposer d'une quantité suffisante d'analyses tout en minimisant le risque de retrouver plusieurs analyses provenant de la

² Les résultats des synthèses réalisées à partir de ces données sont disponibles sur le site du GIS Sol : <http://bdatt.orleans.inra.fr/geosol/index.php>

même parcelle. De plus, comme le pH est le premier paramètre retenu dans le cadre des contraintes réglementaires, nous avons supprimé toutes les analyses ne contenant pas cette information. Dans ces conditions, il est resté 662 489 analyses disponibles pour cette étude.

La calcaire total est également un paramètre que nous avons utilisé pour déterminer la faisabilité de l'épandage. Dans de nombreuses situations, cette détermination n'est pas demandée par les agriculteurs. Or la teneur en calcaire total et le pH sont liés : les sols acides ne sont pas calcaires. Nous avons donc remplacé les valeurs manquantes de calcaire total par 0 lorsque le pH est inférieur à 7. Nous reviendrons plus loin sur l'influence éventuelle de cette hypothèse sur le résultat.

Enfin, comme les informations contenues dans la BDAT ne donnent pas de renseignements précis et complets sur le sol dont provient l'échantillon, nous avons évalué l'incidence de chaque donnée disponible sur la faisabilité de l'épandage. Pour cela nous avons comparé la valeur de chacune des caractéristiques les plus pertinentes à un seuil délimitant, avec une forte probabilité, 2 domaines différents d'aptitude à l'épandage.

Détermination de l'Indice d'Acceptabilité des sols à l'Épandage

Compte tenu de la nature des contraintes qui régissent la pratique de l'épandage, les variables retenues sont ici le pH³ du sol, la teneur en matière organique, la teneur en calcaire total et la granulométrie. Les teneurs en ETM des sols n'ont pas été prises en considération, bien qu'elles aient un rôle important dans le cadre des dispositions réglementaires. En effet, leur grande variabilité, pour des raisons généralement peu dépendantes de la nature des sols, fait que ces teneurs influent beaucoup plus pour une prise de décision d'action à la parcelle que pour une évaluation globale de faisabilité à l'échelle d'un territoire, ce qui est l'objectif de ce travail.

Les seuils retenus sont justifiés par les remarques suivantes :

- **pH** : la réglementation interdit l'épandage des boues non chaulées lorsque le pH du sol est inférieur à 6. Un travail parallèle a été conduit en prenant la limite pH=5 qui s'applique dans le cas de boues chaulées.

- **matière organique** : si la teneur est supérieure à 50 ‰, il est très probable que l'on se trouve en présence soit d'une parcelle utilisée en maraîchage ou d'une prairie, pour lesquelles l'épandage est très peu réalisé du fait des contraintes d'utilisation qu'il entraîne, soit d'une parcelle hydromorphe où la minéralisation de la matière organique est très faible, et pour laquelle l'épandage est très fortement déconseillé. Par ailleurs, une teneur en matière organique

élevée peut également être liée à des épandages importants de déjections animales : dans ces conditions, en application de la «directive nitrates», l'apport de quantités d'azote organique supplémentaires par les boues ne sera pas possible. Pour ces raisons, nous avons considéré que l'épandage n'est pas acceptable quand la teneur en matière organique excède 50 ‰.

- **calcaire total** : si la teneur est supérieure à 250 ‰, la probabilité pour que l'on se trouve en présence d'un sol caillouteux ou superficiel est très forte, situation très défavorable à l'épandage du fait des risques importants de lixiviation du nitrate. On voit donc que, par rapport à ce seuil de 250 ‰, l'imprécision du remplacement des données manquantes de calcaire total par 0 lorsque le pH est inférieur à 7 ne porte pas à conséquence. Les cailloux non calcaires n'ont pas été pris en compte du fait de l'absence de renseignement dans la BDAT

- **sable total** : si la teneur est supérieure à 500 ‰, le sol est très filtrant, ce qui correspond à une situation très défavorable à l'épandage.

- **argile** : si la teneur est supérieure à 350 ‰, l'épandage sera difficile à réaliser à certaines périodes en raison de l'état d'humidité du sol et de risques importants de dégradation de la structure. Dans ces conditions, la situation peut également être aggravée par le fait que la vitesse de minéralisation est relativement faible.

- **indice de battance** : il a été calculé suivant la formule établie par Rémy et Marin-Lafliche (1974)⁴. Des valeurs supérieures à 2,2 correspondent à des structures très fragiles où la réalisation de l'épandage sera difficile à réaliser à certaines périodes si l'on veut préserver l'état structural des sols. Cet indice a été établi pour les sols limoneux du Nord de la France, il n'est pas parfaitement adapté en toutes régions, et doit notamment sous-estimer la fragilité de certains sols comme les boubènes du Sud-Ouest.

Nous n'avons pas utilisé le rapport C/N, habituellement considéré comme un indicateur de la vitesse de minéralisation. Cependant, l'amplitude de variation de ce rapport est faible, et son lien avec la vitesse de minéralisation n'est pas très précis. La pertinence de l'information que nous aurions recueillie par ce moyen est donc limitée.

Ainsi, pour chaque analyse de la BDAT, les résultats retenus sont évalués en fonction de l'arbre de décision présenté figure 2 qui permet d'affecter à cette analyse un indice d'acceptabilité du sol à l'épandage (IAE) variant de 0 (épandage interdit ou non acceptable) à 3 (épandage possible sans contrainte particulière).

Pour chacun des cantons regroupant au moins 10 analyses, nous avons ensuite déterminé le pourcentage d'analyses correspondant à chacune des valeurs possibles pour l'indice. Il aurait été plus parlant d'exprimer ces résultats en fonction de la surface agricole des cantons, mais cela n'est pas possible puisque la BDAT ne contient aucune information concernant la surface des parcelles dont proviennent les échantillons analysés.

³ Le pH que nous considérons ici est le pH du sol mis en suspension dans l'eau, mesuré suivant la norme NF ISO 10390.

⁴ $ib = (1,5 \cdot \text{limon fin} + 0,75 \cdot \text{limon grossier}) / (\text{argile} + 10 \cdot \text{matière organique})$

Figure 2 - Arborescence suivie pour la détermination de l'IAE.

Figure 2 - Tree diagram used to determine the spreading feasibility index.

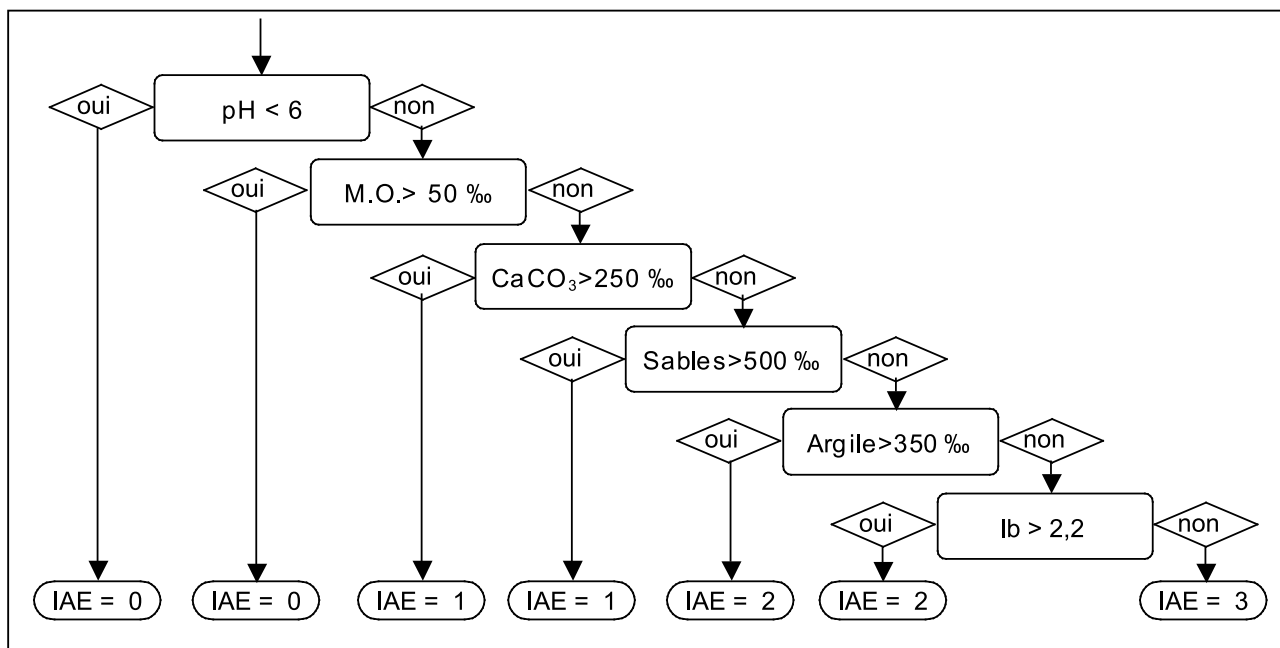


Tableau 1 - Répartition des IAE en fonction du pH réglementaire choisi.

Table 1 - Distribution of spreading feasibility indexes, according to legal pH thresholds.

IAE	pH=5	pH=6	% de cantons où :	pH=5	pH=6
0	35	62	nb IAE=0 >50 %	29	58
1	30	18	nb IAE=1 >50 %	20	23
2	8	5	nb IAE=2 >50 %	2	1
3	27	15	nb IAE=3 >50 %	24	11
total d'analyses utilisables	256 296	368 419	nombre total de cantons renseignés	2438	2677

RÉSULTATS

Sur les 3647 cantons du territoire métropolitain, la BDAT permet d'obtenir une information pour 2677, soit près de 75 % du nombre total de cantons. Les zones non renseignées, outre les zones urbaines, sont principalement localisées en montagne : Alpes, Cévennes et Pyrénées (carte 1). Par ailleurs, sur les 662 489 analyses retenues pour l'étude, 368 419 ont permis d'obtenir un résultat : il manquait au moins un paramètre aux 44 % restantes, ce qui a empêché de parcourir normalement l'arbre de décision.

La carte 3 fait apparaître que la plus grande partie de la France correspond à des cantons où la majorité des analyses disponibles conduit à un IAE=0 : 58 % des 2677 cantons renseignés (tableau 1), alors qu'un IAE favorable à l'épandage (2 ou 3) ne domine que

dans 12 % des cantons. Rappelons qu'il n'est pas nécessaire de disposer de 100 % des terres labourables pour épandre la totalité des boues produites en France. Ces résultats tendent à montrer que dans certaines régions, comme l'axe Île de France-Nord Pas de Calais et, dans une moindre mesure, la vallée de la Garonne, l'est du Bassin Parisien et l'Alsace, il serait cependant plus facile de trouver les surfaces nécessaires. Sauf dans le grand ouest, cette image est cohérente avec celle des pratiques représentées par la figure 1.

L'analyse des motifs de détermination des IAE (tableau 2) montre que le pH est dans la majorité des cas (50 %) à l'origine de l'IAE qui, dans ce cas, est égal à 0 puisque le pH est une contrainte réglementaire absolue.

Si le traitement est fait avec un seuil de pH égal à 5, correspondant au seuil réglementaire appliqué dans le cas des boues chaulées, la carte 2 montre une physionomie différente, avec un élargissement des zones où les IAE favorables dominent et l'apparition de nouvelles zones favorables sur les marches de la Bretagne ainsi que sur l'axe Saône-Rhône. Avec ce seuil de pH, l'indice égal à 0 n'est plus majoritaire que dans 29 % des cantons, et 26 % ont plus de la moitié des indices atteignant 2 ou 3.

Dans ce cas, l'analyse des motifs de prise de décision (tableau 2) montre que ce n'est plus le pH mais la matière organique qui est la caractéristique des sols prédominante pour la détermination de l'IAE. Elle est cependant moins déterminante que le pH dans le premier traitement : 31 et 50 % des décisions, respectivement.

La cartographie des motifs de prise de décision (cartes 3 et 4) montre l'extension spatiale de la limitation due au pH quand le seuil de 6 est utilisé. L'effet calcaire apparaît bien en Charente, Champagne et région PACA. Et l'influence de la matière organique ressort bien dans des régions où pour des raisons d'hydromorphie ou de climat, la minéralisation est ralentie. Par contre, lorsque le seuil retenu est 5, l'effet de la matière organique s'étend fortement, par rapport à la situation précédente, dans des régions où l'élevage est important : Bretagne, Normandie, ouest du Massif Central ou le Jura.

A côté du pH, seuil réglementaire non discutable dans le cadre de ce travail, le seuil de 50 % que nous avons retenu pour la matière organique est donc important et, lui, discutable puisque introduit suite à notre raisonnement. Nous l'avons donc modulé, suffisamment pour que la variation soit significative, mais cependant pas trop pour ne pas dénaturer le raisonnement ayant justifié son introduction. Nous avons donc refait les traitements précédents avec une teneur seuil de 40 % pour la matière organique. La figure 3 montre que la situation n'est pas profondément changée si, quel que soit le seuil de pH retenu (aussi bien 6 que 5), le seuil de matière organique est abaissé. Le nombre d'analyses ayant conduit à un résultat n'est pas exactement le même selon que le seuil retenu est à 50 ou 40 % : davantage d'analyses sont «bloquées» par leur teneur en matière organique pour un seuil à 40 %. Il y a donc plus de résultats disponibles dans ce cas puisque la teneur en matière organique est une donnée très fréquemment renseignée. Nous avons alors exprimé la fréquence avec laquelle chacun des paramètres avait conduit à la détermination de l'IAE en fonction du nombre de résultats disponibles pour le seuil de 50 % : cela permet d'avoir le même pourcentage pour le pH qui n'intervient pas dans cette comparaison. La matière organique ressort bien évidemment davantage avec le seuil de 40 % et les autres paramètres restent très stables.

Cette stabilité des résultats valide donc le seuil que nous avons retenu, étant bien entendu que l'objectif n'est pas de décider pour une parcelle donnée si l'épandage est acceptable ou non, mais bien d'évaluer à l'échelle cantonale la facilité avec laquelle il sera possible de trouver des parcelles aptes à l'épandage de boues.

Tableau 2 - Répartition (en %) des paramètres ayant conduit à la détermination des IAE.

Table 2 - Repartition (%) of the decisive parameter for the determination of spreading feasibility indexes.

Motif	pH=5	pH=6
pH	5	50
MO	31	12
Calcaire	19	13
Sable	11	5
Argile	5	3
Battance	3	2
rien	27	15

DISCUSSION

Représentativité des données sur le sol

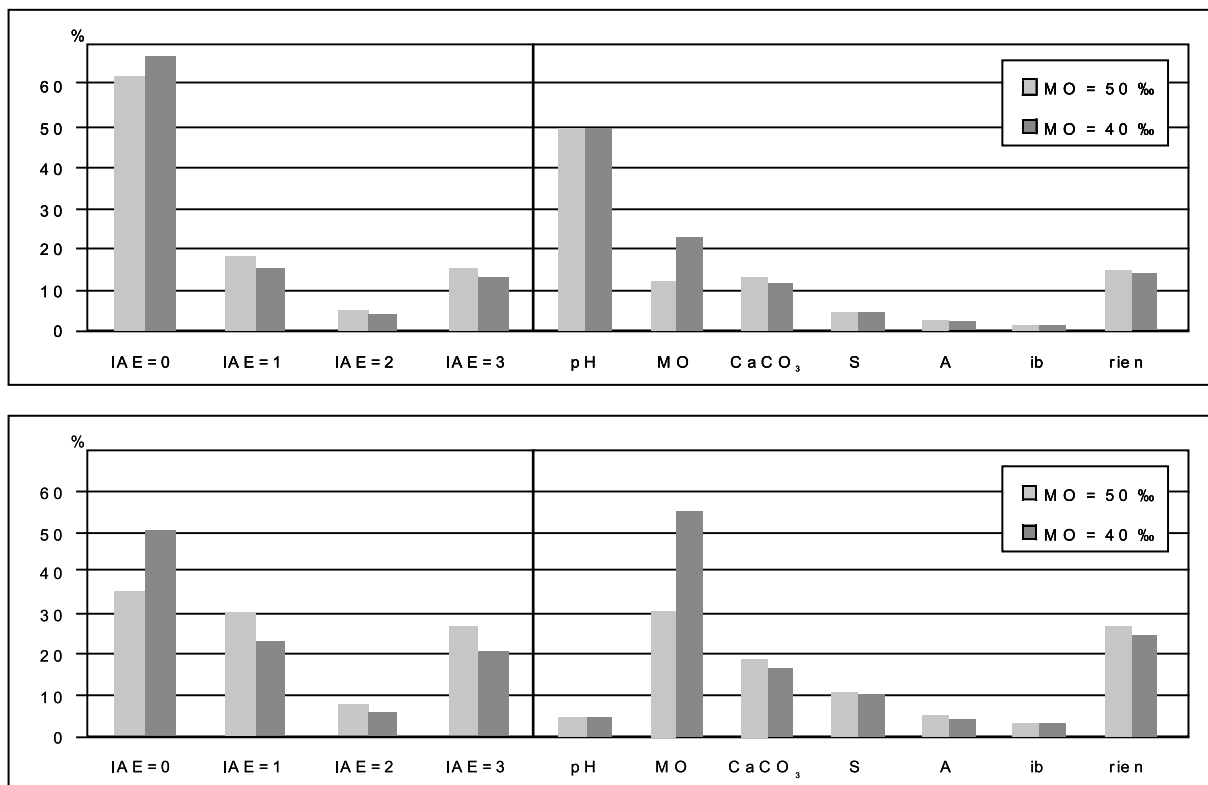
La BDAT est alimentée à partir des résultats d'analyses demandées par des agriculteurs pour gérer leurs parcelles. L'échantillonnage n'est donc pas maîtrisé : peut-il biaiser les résultats ? Cela revient à se poser la question de la motivation de la demande d'analyse effectuée par les agriculteurs et donc de la représentativité des données traitées.

Le raisonnement frustré de la fertilisation tel qu'il était conduit il y a quelques dizaines d'années incitait sans doute à réserver les analyses de terre en priorité aux parcelles «à problème». L'amélioration des bases du conseil de fertilisation, avec notamment le développement de la méthode élaborée dans le cadre du COMIFER a conduit à un accroissement de l'utilisation régulière des analyses de terre pour vérifier l'évolution de l'état du sol (Fabre B., 2005).

Ainsi, les données provenant de la BDAT n'ont pas de risque particulier de présenter une image pessimiste de l'état des sols cultivés français. De plus, il serait vraiment improbable que les sols analysés parce que «quelque chose ne va pas» aient des résultats mauvais pour tous les paramètres analysés. Nous l'avons vérifié dans un travail non publié concernant la région Nord-Pas de Calais, où peu d'échantillons avaient des résultats défavorables pour plusieurs paramètres. En outre, les synthèses réalisées au niveau national (Schvartz *et al.*, 1998) ou régional (Lemerrier *et al.*, 2006) montrent que les grands traits de caractérisation des sols cultivés provenant de la BDAT sont cohérents avec des tendances fournies par des sources différentes ou expliqués par ce que l'on connaît des pratiques agricoles.

Figure 3 - Comparaisons de la répartition des IAE (en % du nombre de résultats disponibles pour chaque traitement) et du paramètre ayant déterminé la valeur de l'IAE (en % du nombre de résultats disponibles pour le seuil de 50 ‰), selon le seuil retenu pour la matière organique.

Figure 3 - Comparisons of the spreading suitability index distribution (% of results available for each treatment), and of the soil characteristic responsible for the IAE value (% of available results when organic matter threshold equals 50 ‰), according to the threshold chosen for the organic matter content.



Pertinence de l'indicateur

En toute rigueur, il aurait fallu valider le modèle utilisé et les résultats obtenus, en comparant ces derniers à des résultats analogues établis par une procédure indépendante. A notre connaissance ces informations n'existent pas ou ne sont pas disponibles. Il faudrait pour cela réaliser une enquête précise auprès de tous les professionnels de l'épandage agricole des boues de STEP pour mieux cerner les conditions de leur activité. Mais, même à supposer qu'ils aient la réponse à ces questions, il est peu probable qu'ils acceptent facilement de les transmettre. C'est un travail intéressant, mais difficile et que nous n'avons pas la possibilité d'entreprendre.

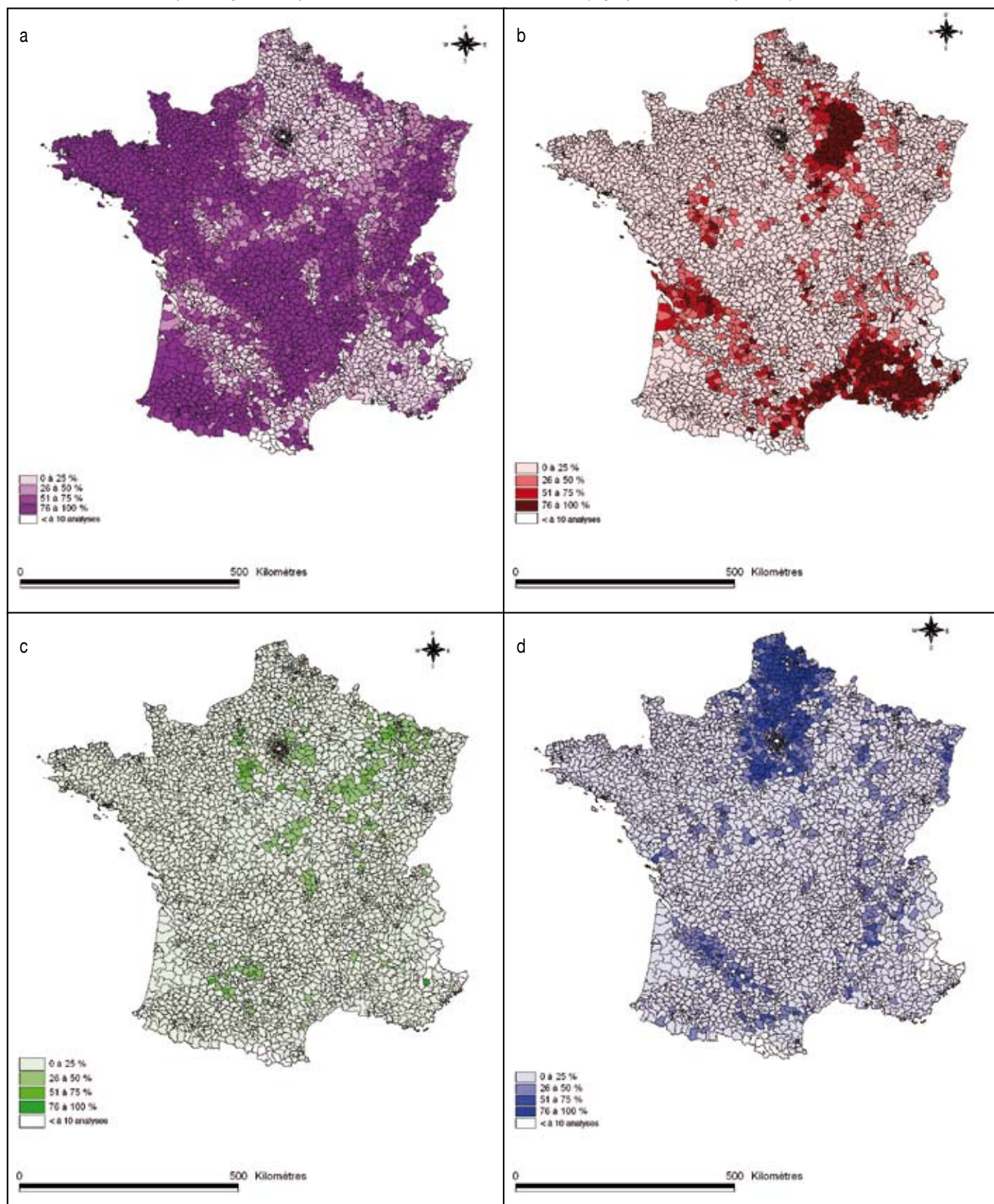
L'image donnée par la carte 1 est surprenante par sa sévérité vis-à-vis de l'épandage agricole des boues de station d'épuration. Sur seulement moins de 20 % du territoire il serait relativement facile de trouver des terres propices à l'épandage. Même si une part importante de la population nationale, et donc du potentiel de production de boues, est localisée entre l'Île de France et le

Nord Pas de Calais, il n'est pas imaginable de concentrer tous les épandages dans ces zones : cela ne serait envisageable ni sur le plan environnemental, ni sur le plan économique, ni même socialement. Rappelons encore que ce résultat ne signifie pas que les épandages soient totalement impossibles sur les parties les plus foncées de la carte 1a, mais seulement qu'il sera plus difficile d'y trouver des surfaces propices, surtout si les quantités à épandre sont conséquentes. En effet, l'agrégation de nos résultats ne permet pas de faire apparaître des surfaces potentiellement utilisables à une échelle plus locale.

Au delà de cette impression brutale, il faut s'interroger sur les raisons de ces résultats, sachant que nous avons montré que l'arbre de décision que nous avons utilisé était suffisamment robuste pour que les résultats ne soient pas fondamentalement changés par des modulations dans les seuils utilisés. Or le premier motif de décision pour un IAE = 0 est la valeur du pH, donc un seuil réglementaire. Ce seuil est justifié à la fois par les risques liés à la mobilité des ETM dans le sol (et donc un risque accru de passage

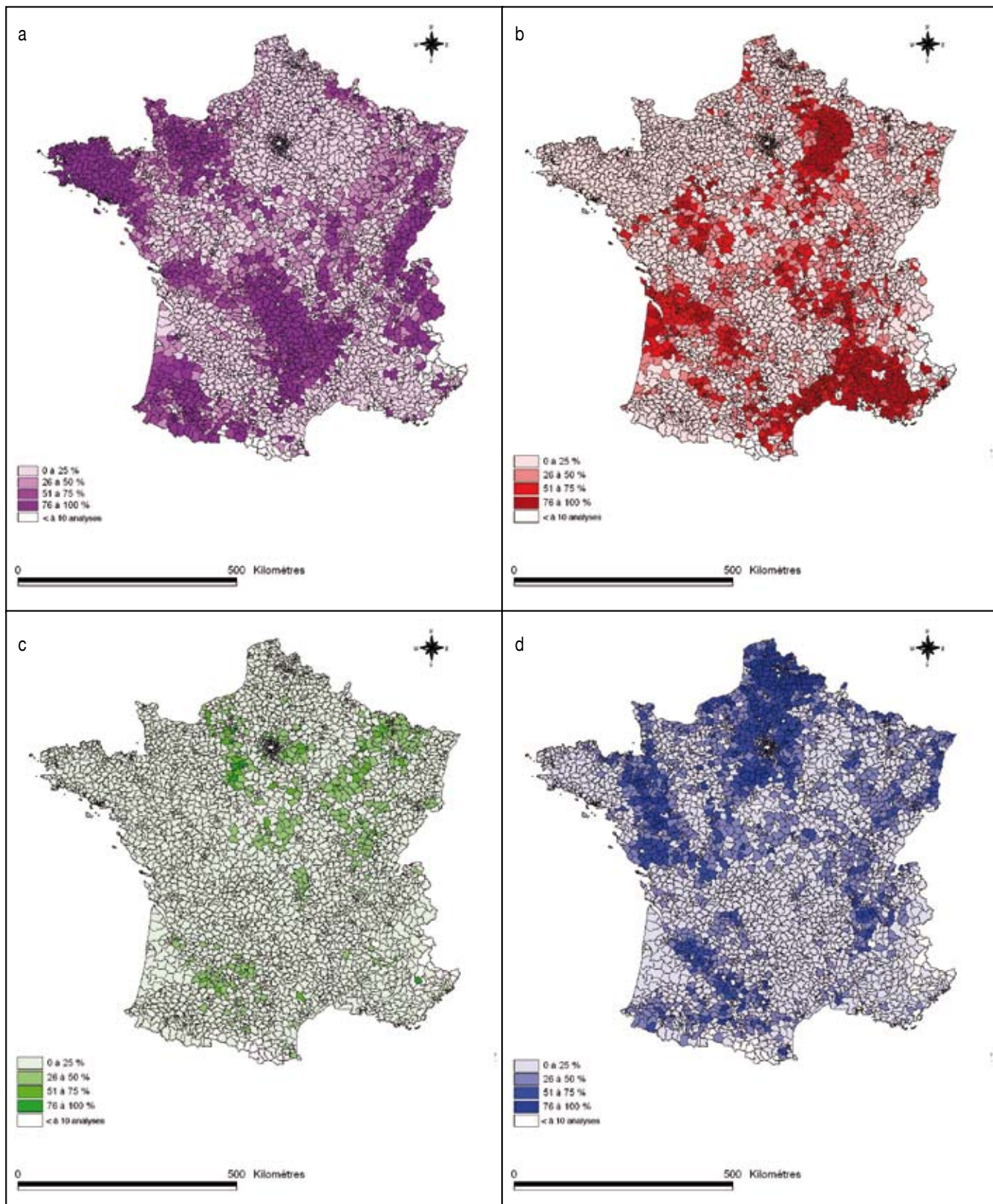
Carte 1 - Répartition cantonale des IAE pour un seuil réglementaire de pH égal à 6. a : IAE = 0 ; b : IAE = 1 ; c : IAE = 2 ; d : IAE = 3.

Map 1 - Distribution of spreading feasibility indexes established at a cantonal scale (legal pH threshold equal to 6).



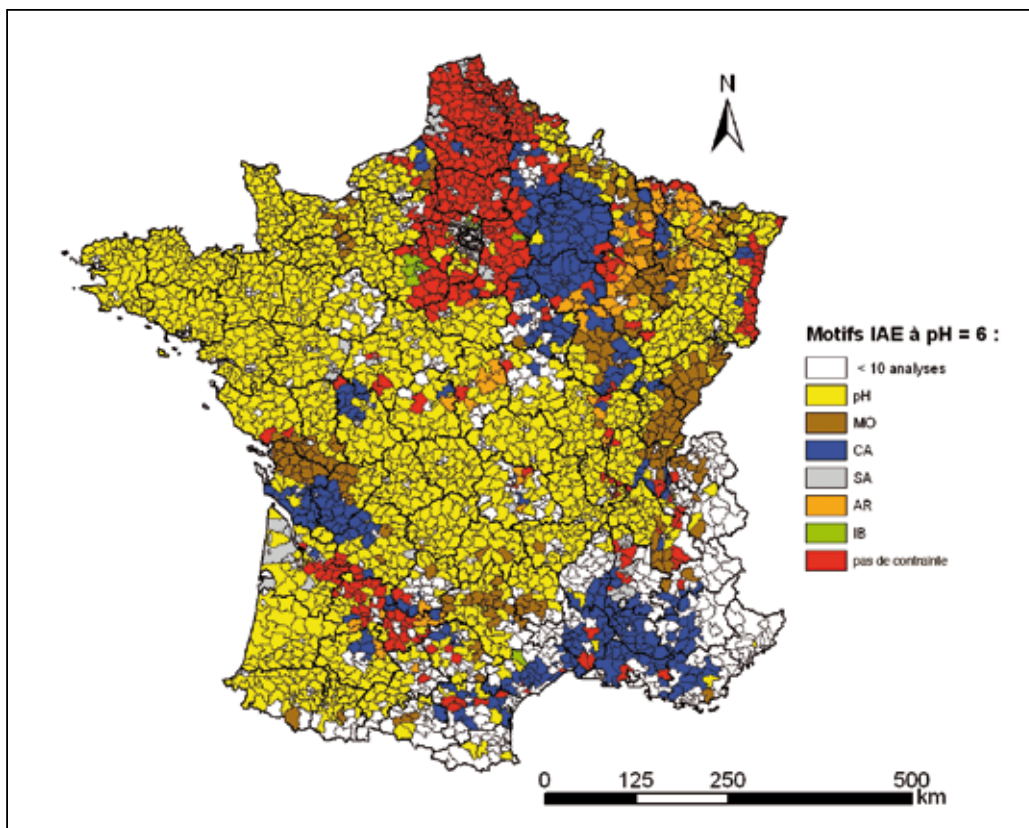
Carte 2 - Répartition cantonale des IAE pour un seuil réglementaire de pH égal à 5. a : IAE = 0 ; b : IAE = 1 ; c : IAE = 2 ; d : IAE = 3.

Map 2 - Distribution of spreading feasibility indexes established at a cantonal scale (legal pH threshold equal to 5).



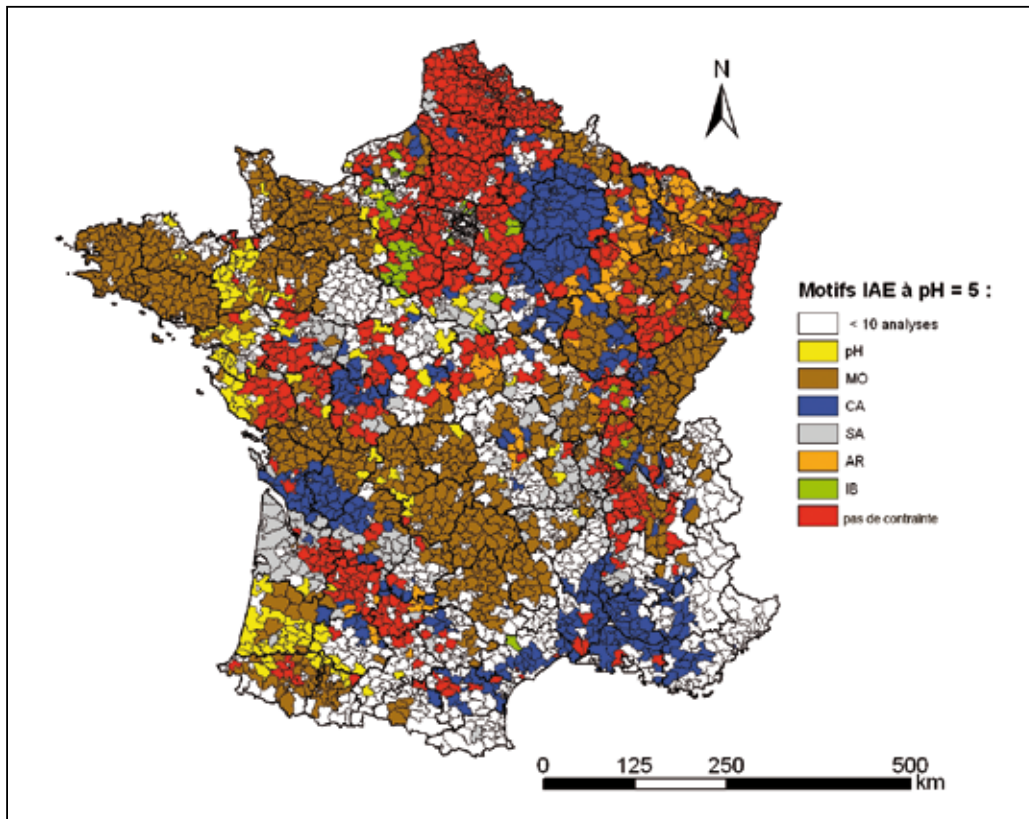
Carte 3 - Répartition cantonale des paramètres ayant le plus souvent conduit à la détermination des IAE, pour un seuil réglementaire de pH égal à 6.

Map 3 - Soil characteristic leading mostly to the spreading suitability indexes established for each canton (legal pH threshold equal to 6).



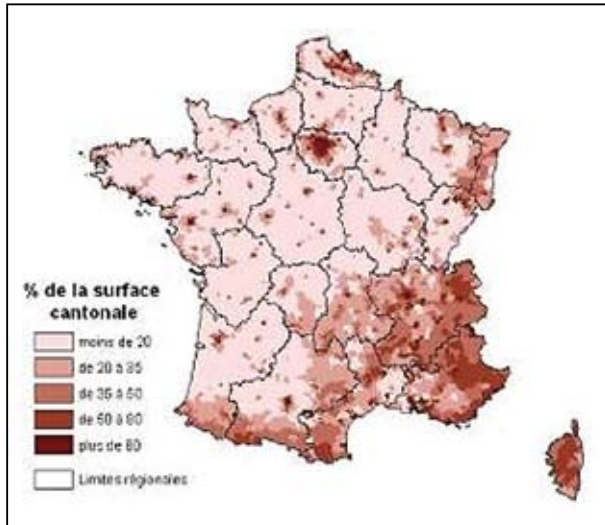
Carte 4 - Répartition cantonale des paramètres ayant le plus souvent conduit à la détermination des IAE, pour un seuil réglementaire de pH égal à 5.

Map 4 - Soil characteristic leading mostly to the spreading suitability indexes established for each canton (legal pH threshold equal to 5).



Carte 5 - Pourcentage de la surface cantonale non épandable. Ce calcul tient compte notamment de périmètres d'exclusion autour des zones urbaines. (Ifen, 2002)

Map 5 - Percentage of the cantonal surface where spreading is not possible, including excluded zones nearby urban areas. (Ifen, 2002)



dans la chaîne alimentaire ou les eaux), et par une diminution de la qualité de la minéralisation due à la baisse de l'activité biologique observée dans ces conditions. Il ne semble pas justifié de vouloir le modifier. Par contre, si la qualité des boues le permet (boues chaulées), il est possible d'épandre jusqu'à des valeurs de pH de 5, ce qui accroît nettement les surfaces d'épandage potentielles.

Dans ces conditions (seuil de pH égal à 5), la principale contrainte est liée à la teneur en matière organique du sol et donc, selon notre raisonnement, à un système de culture apportant beaucoup d'amendements organiques ou à des conditions de minéralisation défavorables. Il y a donc ici clairement compétition entre les épandages de matières organiques d'origine agricole et celles qui viennent de l'extérieur de l'exploitation.

Sous réserve d'autres contraintes (risque d'infiltration élevé, notamment), les zones de grandes cultures sont favorables à l'épandage de boues chaulées, les zones d'élevage le sont moins.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Malgré sa relative simplicité, l'Indice d'Acceptabilité des sols à l'Épandage permet d'établir une information originale renseignant sur la plus ou moins grande facilité avec laquelle il sera possible de trouver, à l'échelle cantonale, des terres aptes à l'épandage de boues de STEP. La BDAT fournit une information spécifique, bien que non exhaustive, décrivant les sols agricoles français : elle conduit ainsi à une représentation nationale de ces indices,

illustrant la répartition des «gisements» potentiels de surfaces disponibles pour la valorisation agricole de boues de stations d'épuration.

Il ressort nettement que la principale limitation à cet épandage, au-delà des questions liées à la qualité des boues et à l'acceptabilité sociale de cette opération, est liée à la réglementation qui interdit l'épandage pour des pH du sol inférieurs à 6. Si le seuil de pH est abaissé à 5 suite au chaulage des boues, les zones favorables s'accroissent significativement, tant en surface qu'en répartition, sur le territoire national. La principale contrainte devient alors la concurrence avec les épandages d'effluents d'élevage provenant des exploitations agricoles elles-mêmes.

Par ailleurs, l'extension très rapide dans certaines régions des zones artificialisées au détriment des espaces agricoles et l'accroissement de la population pourraient, dans un avenir relativement proche, poser le problème de la disponibilité des sols pour l'épandage des boues. La carte 5 montre la répartition cantonale des surfaces non épandables pour des raisons réglementaires non liées à la nature des sols : pente, proximité des habitations et des cours d'eau. Vu le dynamisme démographique des zones à forte population, le rapprochement de la carte 5 avec les cartes 1 et 2 laisse présager simultanément une réduction des surfaces épandables et une augmentation des quantités à épandre dans des zones où les sols aptes à l'épandage sont rares. Ces sols risquent par conséquent de devenir une ressource convoitée.

Il paraît donc indispensable d'envisager de ne pas épandre localement la totalité des boues produites dans les nombreuses régions. Pour résoudre ce problème, il est nécessaire d'agir soit sur la production de boue, soit d'envisager un transport des boues, soit encore de mettre en place, pour certaines régions, d'autres filières de gestion des boues.

Épandre ailleurs nécessite un transport, qui impose de déshydrater au préalable les boues pour que le transport soit économiquement envisageable. Produire moins de boues serait également une alternative séduisante, mais il faudrait alors reconsidérer nos modes de vie et très probablement les techniques d'assainissement des eaux. Deux solutions qui ne sont pas envisageables, à court terme en tout cas !

Le chaulage des boues apparaît donc comme une voie de production à privilégier si l'on veut optimiser, dans l'avenir, la valorisation agricole des boues de station d'épuration. Cette filière d'élimination de ce qui constitue juridiquement un déchet doit cependant veiller à améliorer son acceptabilité sociale en continuant les efforts importants réalisés depuis quelques années, relatifs à la transparence concernant la qualité des produits proposés à l'épandage.

Il est certain que pour des raisons tant qualitatives que quantitatives, la filière agricole seule ne peut et ne pourra pas suffire pour éliminer la totalité des boues. La gestion agricole des boues de STEP ne peut plus être raisonnée indépendamment de celle des autres produits résiduels organiques, qu'ils soient ou non issus des

activités agricoles : une gestion globale coordonnée à l'échelle de territoires régionaux est indispensable. Il est donc indispensable de mettre en place des filières alternatives et/ou complémentaires, adaptées aux situations démographique, environnementale et agricole de chaque région.

REMERCIEMENTS

Le programme concernant la BDAT est réalisé dans le cadre des projets soutenus par le GIS Sol, et plus particulièrement le Ministère en charge de l'Agriculture. Nous remercions également tous les laboratoires d'analyses de terre agréés par le Ministère chargé de l'Agriculture, qui ont transmis les données sans lesquelles ce programme ne pourrait pas fonctionner.

BIBLIOGRAPHIE

- ADEME, 2005 - Les déchets en chiffres. Publication ADEME - Direction Déchets et Sols, 6 p.
- Coutellier A., 2004 - L'épuration des eaux usées urbaines ; Les données de l'environnement ; Ifen, 4 pages (www.ifen.fr)
- Duthil J. 1973 - Éléments d'écologie et d'agronomie ; Ed. J. B. Baillière ; tome 2, 264 p., tome 3, 390
- Fabre B., 2005 - Enquête nationale sur le raisonnement de la fertilisation phospho-potassique. 7èmes journées de la fertilisation de l'analyse de terre - COMIFER GEMAS, Bois 15-16 Novembre 2005
- IFEN, 2002 - L'Environnement en France - 2002, Edition La Découverte ; 606 p.
- J.O. République Française, 1998 - Arrêté du 8 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles, pris en application du décret n° 97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées (JO du 31 janvier 1998).
- Lemerrier B., Walter Ch., Saby N., Schwartz Ch., Arrouays D., Follain S., 2006 - Suivi des teneurs en carbone organique et en phosphore extractible dans les sols agricoles de trois régions françaises: Analyse à partir de la Base de Données des Analyses de Terre. Étude et Gestion des Sols. EGS 13, 3 pp.165-180
- Miquel G., 2002 - Rapport sur la qualité de l'eau et de l'assainissement en France. Rapport au Sénat N° 215, 2002-2003, pp. 171-181
- Rémy J.C. et Marin-Lafleche A., 1974 - L'analyse de terre : réalisation d'un programme d'interprétation automatique. Annales Agronomiques, 25, pp. 607-632
- Saby N., Schwartz Ch., Walter Ch., Arrouays D., Lemerrier B., Roland N. et Squidant H., 2004 - Base de données des analyses de terre : Procédure de collecte et résultats de la campagne 1995-2000. EGS 11, 3, pp. 235-253
- Schwartz Ch., Walter Ch., Daroussin J. et King D., 1998 - Statistical review of the soil test made in France and comparison with the 1:1,000,000 soil map. 16^e Congrès Mondial de Science du Sol, Montpellier, 20-26 Août 1998.
- Thorette J. et Schwartz Ch., 2001 - Plus de 60 % des boues d'épuration municipales ont été épandues en 1999 sur 2 % des sols agricoles. Les données de l'environnement ; sol - agriculture, IFEN, 63, février 2001, 4 p.
- Union Européenne., 2002 - Vers une stratégie thématique pour la protection des sols, document COM (2002) 179 final, 39 p.

