

La cartographie des sols de l'Indre pour des applications thématiques diversifiées

J. Moulin⁽¹⁾ et M. Eimberck⁽²⁾

- 1) Chambre d'Agriculture de l'Indre, 24, rue des Ingrains 36000 Châteauroux
- 2) INRA Unité 1106 Infosol, Centre de Recherches d'Orléans, 45075 Orléans cedex 2

RÉSUMÉ

À partir des années 1980, les Chambres d'Agriculture de la Région Centre et de la Vienne, en collaboration avec l'INRA, ont entrepris la réalisation d'une cartographie systématique de leurs sols à l'échelle du 1/50 000. Cette cartographie a été conçue à l'origine pour fournir aux agriculteurs un outil d'aide à la décision. Les informations sur les sols sont limitées à 10 variables et l'unité de sol représentée correspond au sol dominant.

L'utilisation de méthodes informatiques pour la publication des différentes coupures a nécessité la constitution d'une base de données commune à l'ensemble des départements de la région Centre, Vienne comprise (Base Sols Région Centre), permettant ainsi l'édition de cartes thématiques dérivées du fichier de base.

Cet article présente quelques exemples d'utilisation thématiques des données, soit par extraction simple ou combinée des variables descriptives des sols, soit par croisement avec des variables issues d'autres bases. Ces exemples illustrent les possibilités offertes mais aussi les limites d'utilisation de la Base Sols de la Région Centre dans sa forme actuelle.

Mots clés

Région Centre, carte des sols, Base de Données, Indre, urbanisme, potentiel agronomique, enracinement, biodiversité, zone humide, acidité, Pélobate brun, truffe, Donesol.

SUMMARY

SOIL SURVEY IN THE INDRE FRENCH DEPARTMENT FOR THEMATIC APPLICATIONS

Since the 80's, the Chambers of Agriculture of French Region Centre and Vienne department, in collaboration with INRA, have been conducting a systematic soil survey programme at 1:50 000 scale. Initially conceived as a tool for farmer's decision making, the soil

information gathered and stored in the database was restricted to a common set of 10 criteria, and the soil map units were described according to their dominant soil type.

The computer edition processing involved the creation of both graphic and semantic databases (forming together the Soil Database for the Region Centre). This database enabled to edit thematic maps derived from the source card-index file.

Some examples of these thematic applications are presented. They were realized either by simple or multiple extractions of parameters from the original Soil Database, or by combination with parameters from other ones. They point out the potential and limits of the Soil Database for the Region Centre, in its present version, for its use for thematic applications.

Key-words

Centre region, soil map, database, Indre department, urbanism, agricultural potential, rooting, biodiversity, wetland, acidity, *Pelobates fuscus*, truffle, Donesol.

RESUMEN

LA CARTOGRAFÍA DE LOS SUELOS DEL DEPARTAMENTO DEL INDRE PARA APLICACIONES TEMÁTICAS DIVERSIFICADAS

A partir de los años 1980, las Cámaras de Agricultura de la Región Centro y del departamento de la Vienne, en colaboración con INRA, emprendieron la realización de una cartografía sistemática de los suelos a la escala de 1/50 000. Esta cartografía se concibió al origen para proponer a los agricultores una herramienta de ayuda a la decisión. Las informaciones sobre los suelos se limitaron a 10 variables, y la unidad de suelo representada corresponde al suelo dominante.

El uso de métodos informáticos para la publicación de los diferentes mapas necesito la constitución de una base de datos común al conjunto de los departamentos de la región Centro, departamento de la Vienne incluido (Base Suelos Región Centro), que permite así la edición...

Este artículo presenta algunos ejemplos de uso temático de los datos del fichero de base, sea por extracción simple o combinada de las variables descriptivas de los suelos, sea por cruzamiento con variables de otras bases. Estos ejemplos ilustran las posibilidades ofertas pero también los límites de uso de la Base Suelos de la Región Centro en su forma actual.

Palabras clave

Región Centro, carta de suelos, base de datos, Indre, urbanismo, potencial agronómico, enraizamiento, biodiversidad, zona húmeda, acidez, Sapo de espuelas, trufa, Donesol.

En raison de leur vocation agricole et forestière, et de la diversité des régions naturelles, les cinq départements de la Région Centre ainsi que celui de la Vienne, ont engagé, dès les années 1980, un programme d'inventaire exhaustif de tous les types de sols et de leurs aptitudes agronomiques, avec les pédologues des Chambres d'Agriculture et de l'INRA (station agronomique de Châteauroux, puis SESCOF et Infosol).

Compte tenu des moyens financiers engagés, du temps nécessaire et des développements thématiques attendus, c'est l'échelle du 1/50 000, assortie d'une légende commune à tous les départements, qui a été retenue. Et c'est dans ce cadre que le département de l'Indre a achevé sa couverture pédologique complète en 2004.

Dans l'esprit des concepteurs (en particulier R. Studer), l'objectif initial de cette cartographie systématique (espace agricole et forestier) était double :

- fournir aux agriculteurs un outil d'aide à la décision fiable, basé sur un référentiel objectif des caractéristiques de sols ;
- pouvoir estimer et localiser les montants à engager, en particulier pour des opérations d'aménagements fonciers ou des travaux d'assainissement, ceci grâce aux données surfaciques de la carte (Studer, 1984, 1986).

La numérisation des données tant graphiques que sémantiques réalisée par l'IGN pour l'édition automatique des cartes, a permis, dès le début, une exploitation thématique des données sols (Grelot, 1982). Ainsi, chaque coupure 1/50 000 a très vite été accompagnée de cartes plus synthétiques, à l'échelle du 1/100 000, pour visualiser certaines contraintes. Ces cartes étaient réalisées par simple extraction d'une variable (cartes des textures superficielles, de l'excès d'eau), d'autres par combinaison de variables (cartes de RU, des aptitudes agricoles) (Studer, 1982; Studer *et al.*, 1982).

Avec l'émergence de nouvelles problématiques, d'autres applications thématiques ont vu le jour, soit toujours par extraction simple ou combinée de variables sol (Cam *et al.*, 1996) soit

par combinaison de variables sol et de variables issues d'autres bases de données, et ceci à différentes échelles : de l'exploitation agricole (1/20 000 à 1/25 000) au département (1/300 000).

Nous présenterons quelques exemples d'applications thématiques réalisées par la Chambre d'Agriculture de l'Indre en collaboration avec l'INRA, illustrant les possibilités offertes et les limites d'utilisation de la Base Sols de la Région Centre dans sa forme actuelle.

MATÉRIEL

Les préoccupations agronomiques et les moyens disponibles ont déterminé le choix des variables renseignées et la réalisation de la cartographie.

L'ensemble des variables traduit les informations fondamentales d'ordre pédologique et agronomique nécessaires aussi bien à la lecture de la carte qu'à celle des applications thématiques réalisées à partir de la base de données.

Les variables étaient initialement au nombre de 10, articulées sur la classification CPCS :

Type de sol ; texture de surface ; intensité de la stagnation en eau ; charge caillouteuse ; les types de roche-mère ou de substrat sont déclinés par nature, altération et texture (selon les cas) à chaque fois affectés de classes de profondeur d'apparition (*tableau 1*)

Pour chacune de ces variables, les modalités représentées sur les cartes correspondent à la synthèse de nombreuses observations réalisées à l'échelle du 1/25 000 (1 sondage pour 8 à 20 ha), ce qui assure un rendu cartographique à 1/50 000 de qualité, pouvant même permettre des utilisations à une échelle proche du 1/30 000.

Des profils représentatifs (densité de l'ordre de 1 pour 500 ha) ont par ailleurs été décrits et analysés. Seulement consignés dans les notices, ils n'ont pas été intégrés dans la base

Tableau 1 : Variables pédologiques renseignées (Jamagne, 1967), replacées dans le système de classification utilisé (CPCS, 1967).

Table 1 : Pedological parameters allocated to the pedological classification system CPCS (1967).

Classification CPCS	Variables qualitatives renseignées		Nombre de modalités
Sous Groupe	NAT	Type de sol	34
Famille de sol	SU	Roche-mère ou Substrat	35
Série de sol	TEX	Texture de surface	11
	TS	Texture du Substrat	14
	AL	Altération du Substrat	15
	YHD	Stagnation de l'eau ou hydromorphie du profil	4
	CAIL	Charge en éléments grossiers	8
Série de sol dérivée	PS	Profondeur d'apparition du Substrat	4
	PT	Profondeur d'apparition de la texture du Substrat	4
	PA	Profondeur d'apparition de l'altération du Substrat	4

sémantique; aussi chaque unité cartographique de sol figurant sur la carte exprime-t-elle simplement la combinaison des 10 variables, indépendamment les unes des autres. Chaque polygone forme donc une Unité Cartographique de Sol (UCS) simple composée d'un seul Type de Sol (1 UTS = 1 UCS). La variabilité au sein de l'Unité Cartographique n'est pas décrite. Ce sont donc les caractéristiques du type de sol (UTS) dominant qui sont retenues pour renseigner l'UCS.

Les premières applications thématiques ont été réalisées à partir des données d'origine de la base. Mais la diversité des matériaux parentaux et des comportements induits apparaissant de plus en plus grande au cours de la progression de la cartographie, il a été nécessaire de reprendre le dictionnaire de données et d'introduire de nouvelles modalités pour certains attributs.

Ce fut le cas pour NAT (type de sol) dès 1990 avec l'introduction de 3 types de sols supplémentaires afin de tenir compte de particularités pédologiques locales significatives.

Les modifications les plus importantes ont concerné la géologie avec une diversification des types de substrats (variable SU):

- les matériaux anciens du socle ont été différenciés en 7 types pour le métamorphisme et 2 pour l'ensemble plutonique
- pour les terrains sédimentaires, les formations marines ont été distinguées des formations détritiques, ainsi que certains faciès locaux correspondant à des surfaces significatives.

De nouveaux types de texture du substrat ont également été introduits tels qu'encroûtement continu ou discontinu.

Enfin, dans certains contextes, les pédologues cartographes ont également traduit des particularités de faciès en utilisant des codes initialement attribués à la nature du substrat ou à la texture de l'altération: ainsi par exemple, une discontinuité lithologique telle que des lits marneux dans certains calcaires du Lias, pour lesquels on utilisera les lettres k et m signifiant originellement k = calcaire et m = altération marneuse.

Au total, des révisions du dictionnaire de données de la base ont été réalisées en 1998 (version 2), 2001 et 2003 (version 3), permettant une définition plus fine des zones pouvant être impactées par une thématique.

QUELQUES EXEMPLES ORIGINAUX D'APPLICATION

L'échelle de cartographie choisie (1/50000) permet l'utilisation des données sols à des échelles variées et fines: exploitation agricole (100 à 500 ha), commune (2500 à 5000 ha), bassin-versant (15000 à 20000 ha), ou plus synthétiques: petite région, portion de département ou département dans sa totalité, voire assemblage des départements ayant la même structure de base de données.

Nous présenterons deux types d'application, réalisés à partir des 10 variables renseignées dans la base:

- l'exploitation de données, individuellement ou combinées selon des règles de pédotransfert,
- des données sols croisées avec d'autres types de données.

Le Plan Local d'Urbanisation de Niherne (1/50000)

L'exemple du PLU de la commune de Niherne (centre du département de l'Indre) illustre le cas le plus simple d'utilisation des données contenues dans la base Région Centre: les variables simples telles que texture, hydromorphie sont directement interprétées en matière d'aménagement (par ex. utilisation de la texture pour appréhender les contraintes à l'assainissement individuel). Un catalogue de 5 cartes est proposé (type de sol, potentiel agronomique, importance de l'excès d'eau, texture de la couche arable et nature du substrat géologique); ces documents constituent également un très bon support de dialogue, entre les agriculteurs, les élus et le bureau d'études chargé de la mise en place du document d'urbanisme.

C'est principalement la carte représentant les classes de sols et de contraintes agronomiques¹ qui permet d'orienter les choix urbanistiques à l'échelle locale. Il s'agit dans ce cas d'une simple opération « *d'un porté à connaissance* » pour aider la collectivité à faire ses choix territoriaux.

Cette carte résulte d'un algorithme en application depuis plus de 25 ans notamment dans le cadre de l'estimation de la valeur locative des terres nues. Cet algorithme consiste en une note sur 100 points attribuée aux différentes variables de la base de données (texture du profil, réserves utiles, profondeur exploitable par les racines, pierrosité, intensité de la stagnation de l'eau, état calcaire et organique de la couche arable (Studer, 1986)).

Les points sont transformés en euros via un indice réévalué chaque année (figure 1).

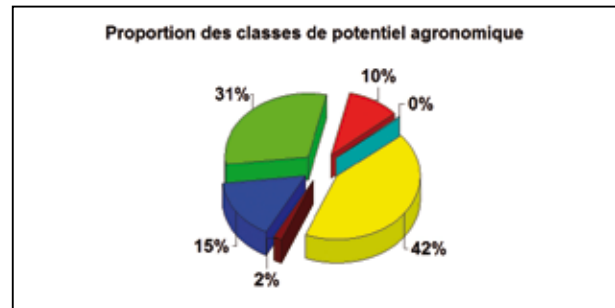
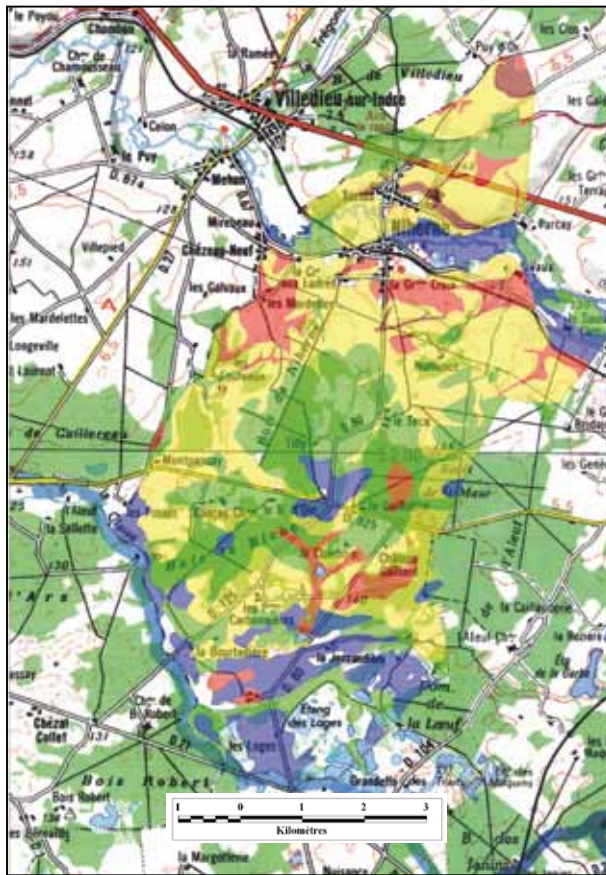
Limitation de la profondeur racinaire dans le Département de l'Indre (échelle du département)

A partir de la profondeur d'apparition du substrat (PS), sa nature (SU) ou son altération (AL), il est possible d'extraire des informations pouvant préciser la compacité ou la dureté des roches cohérentes et ainsi localiser par grandes zones, les limites de profondeurs d'enracinement pour des cultures annuelles. Cette demande a été formulée par les services de l'Administration Agricole Régionale dans le cadre de la re-délimitation des Zones Défavorisées Simples (ZDS), préalablement à la démarche nationale actuellement en cours.

Les critères de différenciation des variables portent exclu-

¹ L'approche méthodologique figure de manière précise dans toutes les notices des cartes qui ont été publiées entre 1980 et 2004.

Figure 1: Potentiel agronomique des sols de la commune de Niherne.
Figure 1: Soils agricultural capacity of Niherne area.



Carte IGN
 © copyright IGN PARIS - "Reproduction interdite"
 © BD SOL 36 - copyright CA 36 - INRA
 Licence SCAN 100 N°2000/74

sivement sur les caractères descriptifs des faciès lithologiques des matériaux géologiques (éléments disponibles dans les notices des cartes géologiques correspondantes, à 1/50 000 du BRGM), associés à des observations collectées lors des prospections pédologiques, permettant ou non une prospection racinaire en l'absence de contrainte mécanique. L'approche se fait par interprétation des variables de la base, en lien avec les descriptions disponibles ponctuellement (profils / sondages). La profondeur de 40 cm retenue correspond à un seuil de profondeur intégré à la base ; elle est proche du critère spécifié dans le cadre de la délimitation des ZDS (*Zones Défavorisées Simples*), seuil de 50 cm. Antérieurement à cette démarche, un travail en Région Centre, avait déjà été conduit sur la présence de matériaux durs susceptibles de procurer des contraintes en matière d'enfouissement de réseaux.

Dans cette cartographie, l'objectif consistait à spatialiser, par classes de pourcentage, des niveaux de contrainte par blocage d'enracinement au sein de chaque périmètre communal sur les espaces agricoles et forestiers.

Il n'est pas toujours facile d'appréhender correctement les

possibilités d'enracinement dans certains types de matériaux parentaux. Ainsi en est-il, par exemple, des calcaires du Jurassique supérieur dont la fissuration augmente le volume prospecté par les racines.

Les critères de tri sont donc fondés à la fois sur les classes de profondeur d'apparition du substrat et sur sa nature lithologique qui peut pondérer la profondeur.

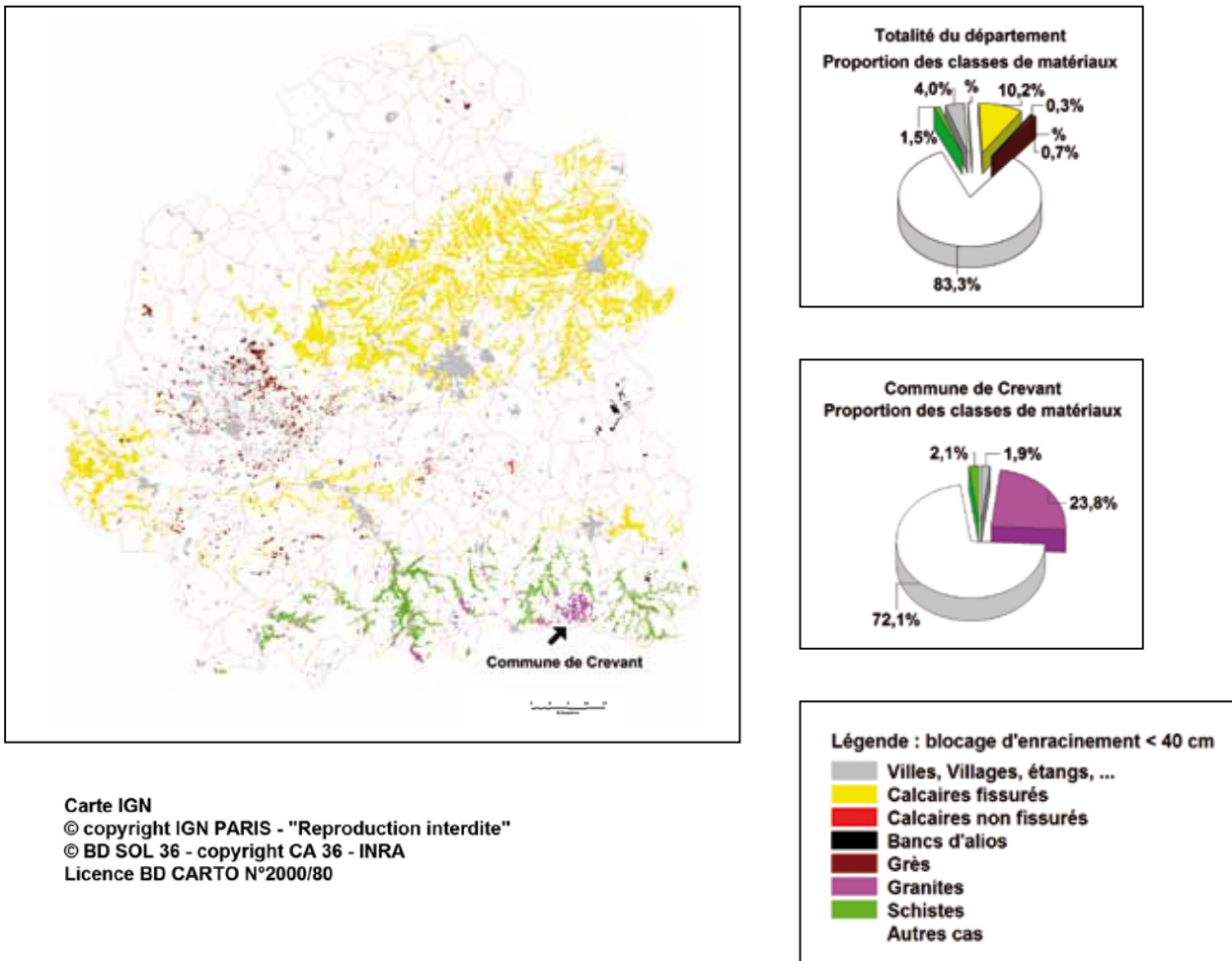
Cet exemple d'utilisation d'une base de données montre la difficulté de mettre en relation la demande d'un cahier des charges pouvant être précis sur certaines variables (critères de profondeur par exemple) ou exclusifs sur des critères de contraintes (blocage d'enracinement) et l'interprétation de variables descriptives disponibles, qui, elles, traduisent un milieu naturel aux caractéristiques beaucoup plus nuancées.

Dans ces conditions, une visualisation à l'échelle du 1/50 000 de la carte des sols permet de faire un diagnostic des niveaux de contraintes par type de matériaux, et peut s'appliquer au périmètre d'une commune, d'une petite région ou à tout un département (figure 2).

Ces deux graphiques illustrent l'intérêt de visualiser la variabilité des classes de matériaux, mais aussi de les localiser dans

Figure 2: Limitation de la profondeur d'enracinement dans les sols de l'Indre (CA 36, 2008).

Figure 2: Limitation of depth rooting in soils of Indre.



un espace géographique: le territoire d'une commune (échelle prise en compte dans le cadre des ZDS) peut fort bien montrer des surfaces conséquentes affectées par la limitation de la profondeur racinaire pour un même matériau ou pour des types de matériaux différents (exemple de la commune de Crevant); en revanche, à l'échelle du département, c'est la notion d'absence de contraintes qui est prépondérante.

De plus, la spatialisaton permet de mettre en évidence des modes d'organisation différents en fonction des types de matériaux, en soulignant, par exemple, les « couloirs hydrographiques » dans le sud du département (schistes), une distribution aléatoire dans les matériaux détritiques de l'Éocène (grès) du centre ouest, ou encore, de vastes interfluves dans les calcaires fissurés du centre est.

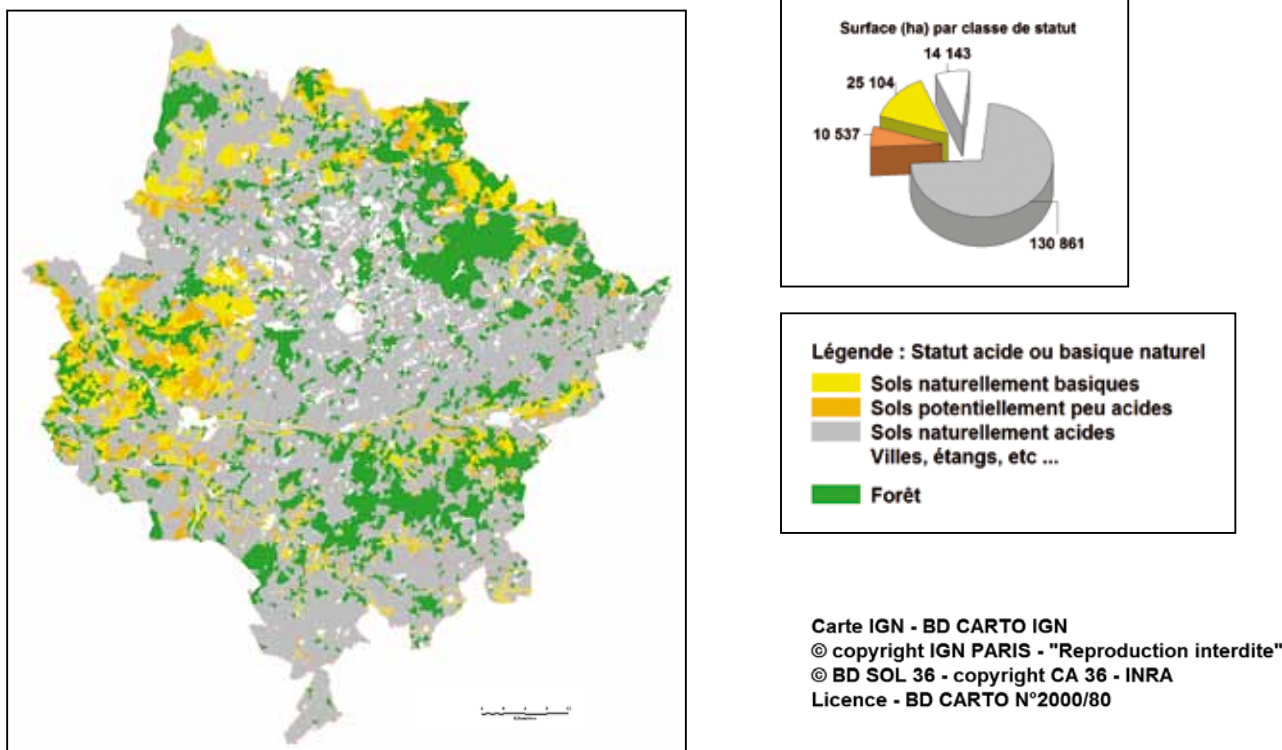
Carte d'acidité des sols de Brenne (1/100000)

Dans le cadre d'un groupe de développement agricole, une carte de l'acidité des sols de la région Brenne (ouest du département) a été réalisée. Ici aussi l'objectif était de répondre à un besoin d'aide à la décision en matière de recalcification des sols, la carte devant orienter l'échantillonnage des sols à analyser.

Cet exemple montre qu'en l'absence d'information directe sur le pH des sols, une règle de pédotransfert peut être établie à partir des variables disponibles type de Sol (NAT) et type de Roche-mère (SU).

Trois classes ont été retenues;

1- sols naturellement basiques correspondant à la série des sols calcimagnésiques (CPCS) développés indistinctement dans des dépôts marins du Jurassique, les matériaux du Crétacé ou de l'Éocène lacustre;

Figure 3: Cartographie du statut acide ou basique naturel des sols de la région Le Blanc - Brenne (CA 36, 2006).**Figure 3:** Map of acidic soils in Le Blanc - Brenne region.

2- sols potentiellement peu acides, développés sur des substrats carbonatés, par exemple jurassiques, tout en tenant compte du seuil de profondeur d'apparition de ces substrats, en particulier lorsqu'ils sont masqués par de minces recouvrements d'Eocène détritique;

3- sols naturellement acides, sols développés sur substrat non carbonaté (par exemple les Luvisols limoneux ou les Planosols à textures sableuses).

La méthodologie de tri simple ou croisé a consisté à extraire dans un premier temps (i) la classe des sols calcimagnésiques, puis dans le solde restant, à extraire (ii) les sols correspondant à la seconde classe. La troisième classe correspond aux sols n'entrant dans aucune des 2 classes précédentes. Le calcul des pourcentages des classes a porté sur les seuls espaces agricoles, les forêts ont été exclues (figure 3).

Cette procédure permet de dégager les grandes tendances des sols de la région de la Brenne et le cas échéant d'orienter une campagne de recalification après avoir pratiqué des mesures de pH. Par la suite, cette carte a également permis aux agriculteurs un pré-positionnement de MAETER² sur les prairies permanentes en fonction de la diversité et de la qualité bota-

nique des cortèges floristiques corrélés au niveau d'acidité du sol et représentatifs de cette partie du Parc Naturel Régional de la Brenne.

Sols et habitats du Pélobate Brun (*Pelobates fuscus*) en Brenne (Echelle petite région naturelle)

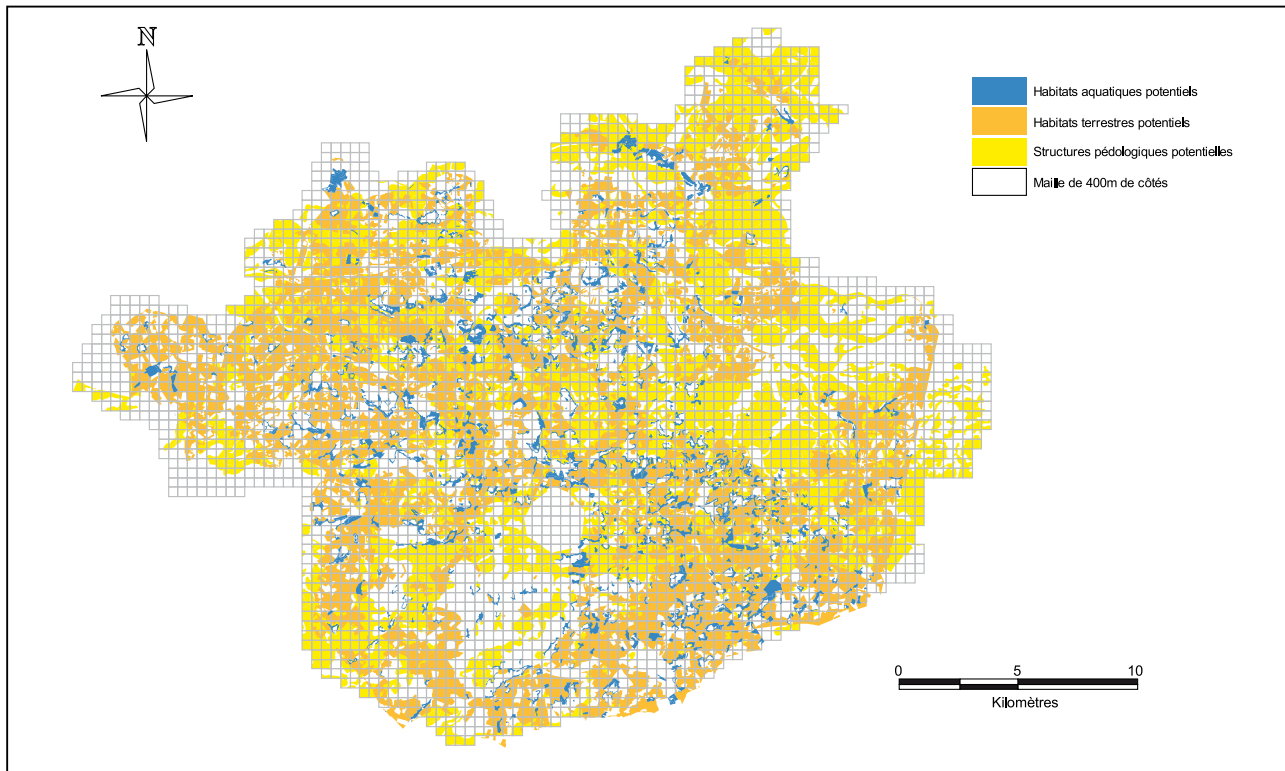
Dans le cadre d'un travail sollicité par l'association de protection de l'environnement Indre Nature, une étude de potentialités d'accueil d'habitats du Pélobate Brun a été réalisée pour les sols de la Brenne (Lacoste et Durrer, 1999; Eggert, 2000; Thirion *et al.*, 2001; Vacher *et al.*, en préparation).

Figurant parmi les espèces « menacées d'extinction » (arrêté du 9 juillet 1999), le Pélobate Brun est un petit crapaud fousseur, en marge de son aire de répartition et qui ne subsiste plus que dans l'est et le centre de la France. Des exigences écologiques très strictes font que l'espèce est très inféodée à un milieu particulier, caractérisé par des contraintes précises: des sols meubles, profonds, sableux, frais même en été; une végétation peu dense de type herbacée, clairsemée et/ou rase, sans strate supérieure. Les sites de reproduction doivent conserver de l'eau jusqu'à la fin de l'été.

² MAETER: Mesures Agro-Environnementales Territorialisées.

Figure 4: Potentialités d'accueil des habitats de Brenne pour le Pélobate brun (source : Association Indre Nature).

Figure 4: Potential habitats for *Pelobates fuscus* in Brenne.



Ce travail montre un exemple de tri simple, à partir de critères fournis par le demandeur (critère biologique de l'espèce interprété pour correspondre à une requête sur la base de données). Le tri a porté sur les matériaux: TEXT (texture de surface), la profondeur d'apparition et la texture du substrat (ce qui donne l'épaisseur du matériau sableux) et l'hydromorphie (HYD); leur combinaison a abouti à 4 classes de sols à dominante sableuse:

- sables très hydromorphes, profonds ou non,
- sables sains moyennement profonds (< 80 cm),
- sables moyennement hydromorphes et profonds (80 cm),
- sables sains et profonds (> 80 cm).

L'ensemble de ces sables couvre plus de 30 000 ha en Grande Brenne.

Cette classification est ensuite croisée avec les caractéristiques des habitats aquatiques et terrestres favorables au Pélobate Brun (Moulin et Boyer, 2007).

Le croisement des trois couches d'informations (habitats aquatiques, habitats terrestres, structure pédologique) permet de délimiter des sites potentiels. Un site sera réputé favorable si ces trois couches apparaissent dans un carré de 400 m de côtés (figure 5).

Chaque site potentiellement favorable est ensuite examiné sur photo aérienne pour étudier l'agencement des habitats entre

eux, essentiellement pour vérifier si les habitats aquatiques sont aisément accessibles (Boyer *et al.*, 2004).

Cette méthodologie a permis d'identifier environ 170 sites potentiellement favorables et d'orienter des mesures de restauration ou d'initiation des habitats à mettre en place.

Cartographie des sites potentiellement favorables à la trufficulture (échelle du département)

Cette cartographie, destinée à fournir un outil d'aide à la décision, a été mise en œuvre à la demande des conseillers pour répondre au développement de la production trufficole.

Première étape

La première étape a consisté à définir les exigences d'une production trufficole en matière de sols d'après les données bibliographiques (Verlhac, 1990; Callot *et al.* 1999; Sourzat, 2004; Jauffre, 2006) pour ensuite les croiser avec les variables disponibles sur le sol dans la base de données, ceci afin d'obtenir des classes d'aptitudes potentielles des sols. Ce croisement repose sur une méthode paramétrique: un système de notation sur 100 points. Ce choix méthodologique a été retenu notamment en rai-

Schéma 1 - Schéma explicatif de l'algorithme Niveau Trophique.
Scheme 1 - Explanation scheme of Trophic level in Trufficulture algorithm.

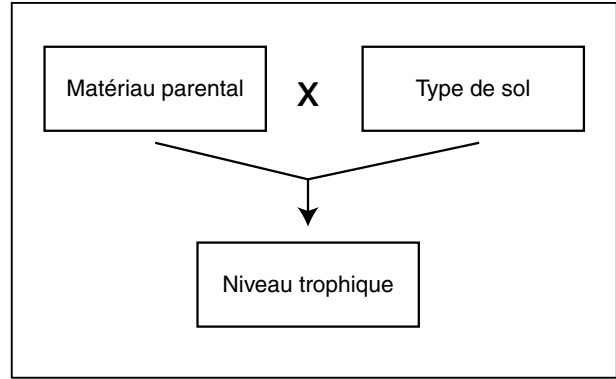


Schéma 2 - Schéma explicatif de l'algorithme Potentiel d'Enracinement.
Scheme 2 - Explanation scheme of potential deep-rooting algorithm.

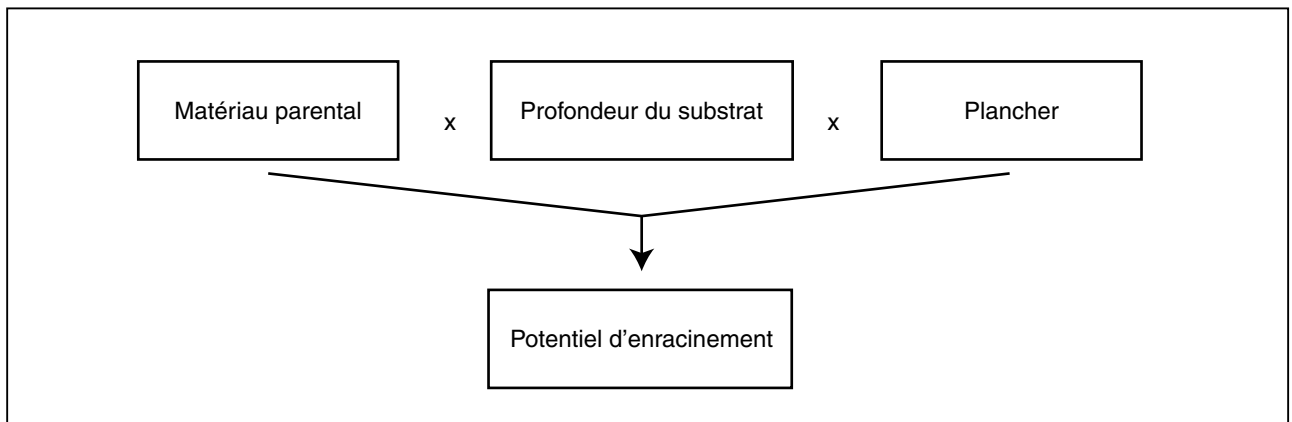


Schéma 3 - Schéma explicatif de l'algorithme R.U.
Scheme 3 - Explanation scheme of usefull available water.

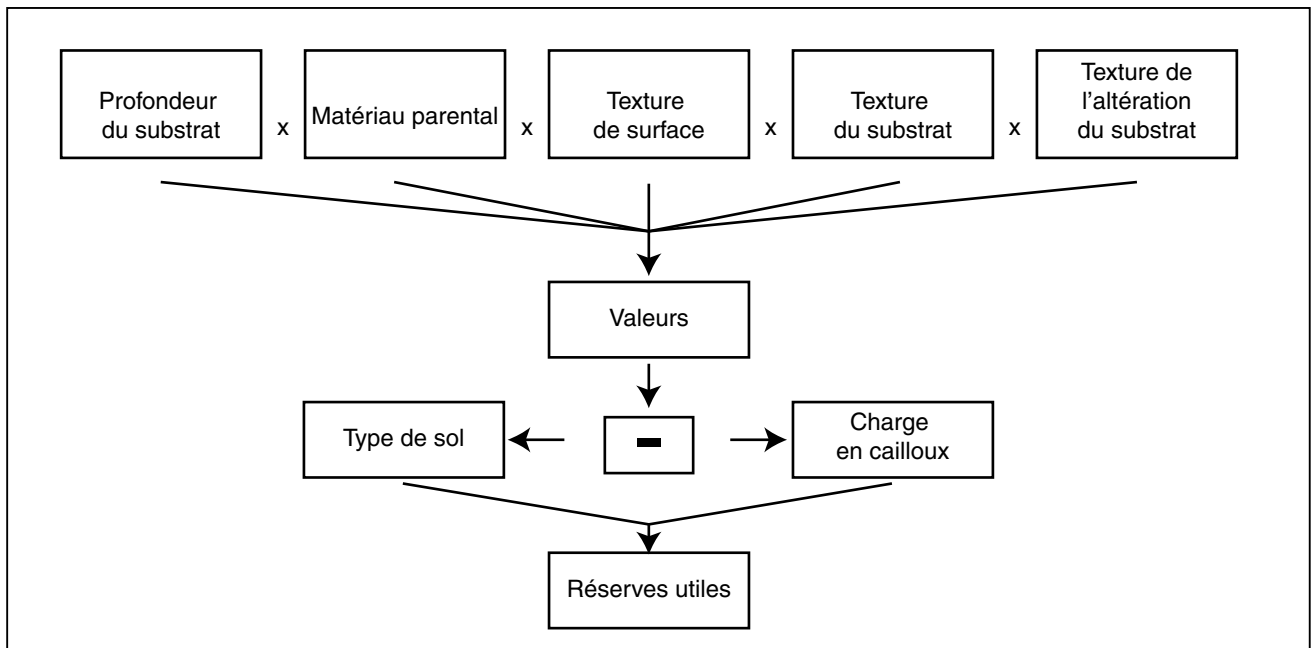
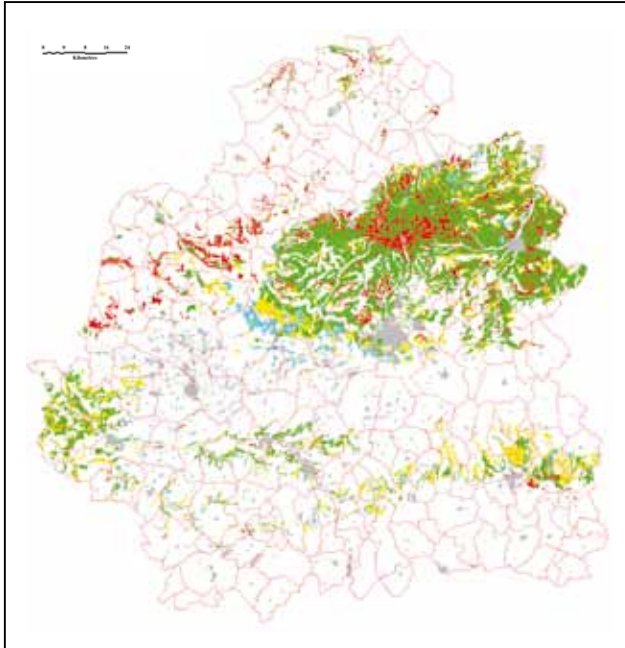


Figure 5a: Limitation de la profondeur d'enracinement dans les sols de l'Indre (CA 36, 2008).

Figure 5a: Limitation Soils favourable for truffe production according to their pedological properties (CA36, june 2006).



Légende : Classes d'aptitude à la trufficulture

- Villes, villages, plans d'eau, ...
Impropre à la trufficulture
- Non favorable
- Favorable, facteur limitant (Niveau Trophique & Texture)
- Favorable, facteur limitant (RU)
- Très favorable

Carte IGN - BD CARTO IGN

© copyright IGN PARIS - "Reproduction interdite"

© BD SOL 36 - copyright CA 36 - INRA

Licence - BD CARTO N°2000/80

Figure 5b: Sols du département de l'Indre propices à la trufficulture après prise en compte de l'exposition (CA 36, juin 2006).

Figure 5b: Soils favourable for truffe production according to pedological properties and orientation (CA36, june 2006).



Sols exposés SSO-SSE

- Sols très favorables
- Sols favorables - facteur limitant (RU)
- Sols favorables - facteur limitant (Niveau Trophique & Texture)

Sols sur autres expositions



Carte IGN - BD CARTO IGN - BD ALTI

© copyright IGN PARIS - "Reproduction interdite"

© BD SOL 36 - copyright CA 36 - INRA

Licence - BD CARTO N°2000/80 - BD ALTI N°2002/61

son du lien existant avec d'autres algorithmes déjà réalisés (RU, niveau trophique et potentiel d'enracinement).

Les critères sols pris en compte sont : l'hydromorphie, critère le plus important, (25 points), la texture de surface (20 points), le niveau trophique (20 points), le potentiel d'enracinement (15 points), la RU (20 points).

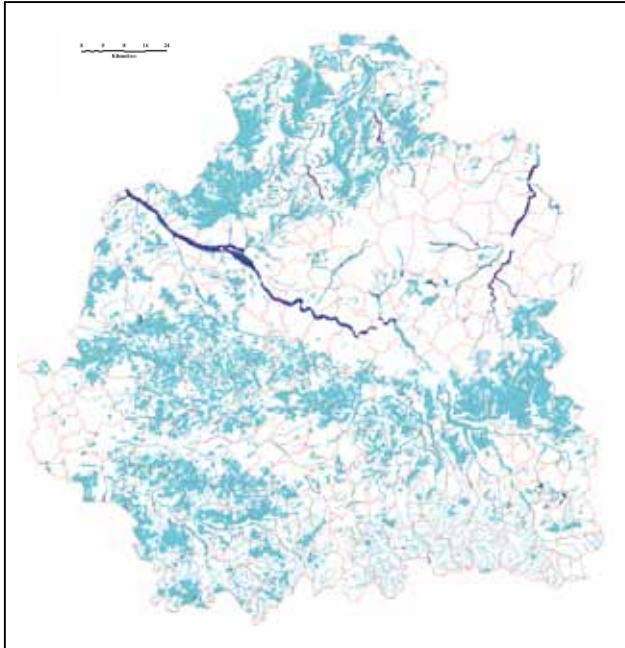
- **L'hydromorphie** est l'un des critères les plus importants. En effet, la production trufficole ne supporte en aucun cas l'hydromorphie prolongée et marquée (traces d'oxydation ou de réduction, horizon albique...). C'est la raison pour laquelle un poids d'1/4 du total lui a été attribué, soit 25 points.

L'hydromorphie (HYD) est l'un des 10 paramètres renseignés dans la base et donc directement extractible. Toutes les unités de sols présentant des conditions correctes de ressuyage (aucune trace d'engorgement sur l'ensemble du profil) ont reçu 25 points, celles présentant des signes d'engorgement entre 40 et 80 cm, 5 points; celles présentant une hydromorphie temporaire à moins de 40 cm, ainsi que les situations réductiques, ont été affectées de 0 point.

- Les travaux et recherches de l'INRA, montrent que la **texture** est un critère très important pour la production trufficole, toutefois pas aussi important que l'hydromorphie car, contraire-

Figure 6a: Délimitation des zones humides du département de l'Indre ; d'après l'arrêté du 24 juin 2008 (version 1).

Figure 6a: Map of humid areas in the department of Indre (version 1).



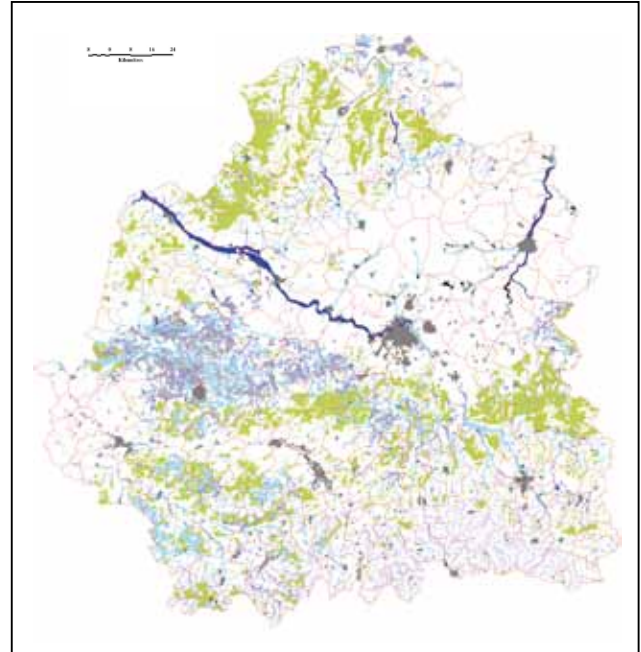
Sols indicateurs de zones humides
 Total 29.3 % de la surface du département (27% SAU)

- Histosols, Réductisols (6 000 ha)
- Autres sols (cf Arrêté), hyd < à 40 cm (190 300 ha)
- Autres sols (cf Arrêté), hyd 40/80 cm (5 800 ha)

Carte IGN
 © copyright IGN PARIS - "Reproduction interdite"
 © BD SOL 36 - copyright CA 36 - INRA
 Licence BD CARTO N°2000/80

Figure 6b: Version 2, d'après l'Arrêté du 1^{er} octobre 2009.

Figure 6b: Map of humid areas in the department of Indre (version 2).



Sols indicateurs de zones humides
 Total 14.8 % de la surface du département (18 % SAU)

- Villes, Villages, Etangs, etc...
- Hydromorphie < 25 cm, classes GEPPA, V(b,c,d), VI, H
- Histosols, 100 % surface (600 ha)
- Réductisols, 100 % surface (5 400 ha)
- Rédoxisols, 80 à 100 % surface (37 800 ha)
- Autres sols (cf Arrêté), 60 à 80 % surface (31 800 ha)
- Autres sols (cf Arrêté), 20 à 40 % surface (26 800 ha)

ment à cette dernière, une texture peu favorable peut être compensée par d'autres facteurs comme la charge en cailloux, la topographie. La texture est affectée d'un poids de 1/5^e du total, soit 20 points.

Paramètre renseigné dans la base, la texture de l'horizon de surface (TEX) est également directement extractible. Les textures favorables sont: argiles, argiles limoneuses, limons argilo-sableux et argileux, auxquelles on a attribué 20 points. Les limons sablo-argileux sont affectés de 10 points, les argiles sableuses, les sables argileux et les argiles lourdes n'ont que 5 points. Toutes les autres textures sont notées 0 point.

• **Le niveau trophique** (pH, CEC et cations échangeables) constitue le troisième critère important, ce critère résulte d'un algorithme existant et utilisé dans l'approche du potentiel agronomique (Studer, 1982). N'étant pas renseigné dans la base, il est obtenu en croisant deux paramètres de la base de données (*schéma 1*) que sont le type de sol (NAT) et la nature du matériau parental (SU). Il est ainsi possible d'obtenir une approche du niveau trophique, ce qui permet d'éliminer des sols où la CEC est trop basse et indirectement le pH. C'est la raison pour laquelle nous lui avons attribué un poids de 1/5^e du total, soit 20 points.

Dans la base de données, le potentiel agronomique est noté sur 15 points; le choix de porter son poids à 20 points dans le cas

de la trufficulture revient à privilégier les sols calcimagnésiques connus pour offrir des conditions propices à la trufficulture. À l'opposé, les autres sols sont reconnus pour leur peu d'aptitude ou leur inaptitude à la trufficulture en raison de facteurs pédologiques réhibitoires (hydromorphie, texture...). En terme de potentiel trufficole (pot truff) on a donc 3 classes :

- si potentiel agronomique est = 15, note pot truff = 20,
- si potentiel agronomique entre 15 et 10 note pot truff = 5,
- si potentiel agronomique est < 10, note pot truff = 0.

- **Le potentiel d'enracinement (PROF)** est le critère qui impacte l'arbre hôte. Un bon développement racinaire favorisera la symbiose. Là encore cette variable n'est pas directement renseignée dans la base, et il convient d'utiliser un algorithme (existant et utilisé dans l'approche du potentiel agronomique) et qui croise des paramètres de la base (*schéma 2*).

Pour ce critère dont le poids est de 15 points, nous avons repris les valeurs de la contribution de la profondeur d'enracinement issues de l'algorithme « potentialité agronomique » et basée sur :

- le matériau parental (SU) regroupé en 3 classes,
- la profondeur d'apparition du substrat (PS) en 4 classes,
- la notion de plancher (PLAN) en 3 classes, elles-mêmes obtenues par un autre algorithme croisant type de sol (NAT), matériau parental (SU) et hydromorphie (HYD).

- **La réserve utile en eau (RU)** est indispensable à prendre en compte aussi bien pour l'arbre hôte que pour la truffe. Pour l'arbre hôte, la réserve utile doit compenser ses exigences écologiques au niveau hydrique pendant la saison estivale. Beaucoup de sols propices à la truffe ont cependant une réserve utile trop faible (du fait de leur texture, de leur profondeur...) ce qui contraint fortement la réussite d'une bonne production si l'été est sec.

Nous avons donc affecté à ce critère un poids de 1/5^e du total, soit 20 points. Il s'agit d'un croisement entre différents paramètres de la base de données (*schéma 3*) que sont : la profondeur du substrat (PS), le matériau parental (SU), la texture de surface (TEX), la texture du substrat (TS) et la texture de l'altération du substrat (AL). Le calcul de la réserve utile fait l'objet d'un algorithme développé voici près de 30 ans sur la base de données (*cf. Introduction*).

Une décote est appliquée en fonction du type de sol (NAT) et de la charge en cailloux (CAIL), et au final on obtient 8 classes de RU allant de 20 à 0 point (soit de 174 mm à moins de 25 mm).

L'importance de l'expertise est renforcée par le traitement des cas particuliers correspondant à des situations pédogénétiques spécifiques (ex : sols à caractères réductiques).

Les résultats obtenus auraient pu classiquement être déclinés en 3 classes : non favorable ou impropre, moyennement favorable et favorable, chaque classe ayant globalement la même amplitude de points.

Des tris en multi-critères, croisant les résultats obtenus par cumul des points, avec les variables pédologiques de la base de données, ont permis de faire ressortir le poids de certaines de ces variables au sein de ces 3 classes. Ce type de tri, sur la classe des sols considérés moyennement favorables, a fait ressortir deux niveaux de contraintes de nature pédologique, et de passer ainsi de 3 à 5 classes :

- Classe 1 : < 1 point, impropre
- Classe 2 : ≥ 1 point < 40 points, non favorable
- Classe 3 : ≥ 40 points < 65 points, favorable avec des facteurs limitants (niveau trophique, texture)
- Classe 4 : ≥ 65 points < 85 points, favorable avec facteurs limitants (RU)
- Classe 5 : ≥ 85 points - 100 points, très favorable

Dans la classe 3, il s'agit d'une contrainte majeure difficilement maîtrisable, directement liée à des variables pédologiques, tandis que dans la classe 4, il s'agit d'une contrainte (faible RU) pouvant être compensée par une variable externe, la pluviométrie, durant la période végétative et susceptible d'être considérée en termes de fréquence sur une décade, par exemple.

De tels tris permettent également de spatialiser les résultats (surface et localisation) et ainsi d'orienter le nombre des classes retenues et la valeur en points de leurs bornes (*figure 5 a*).

Dans une deuxième étape, le facteur exposition a été intégré pour affiner la délimitation des sites potentiellement favorables.

La variable exposition est extraite d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) construit sur les valeurs de la Base de Données Altimétriques de l'IGN (BD Alti au pas de 50 m).

Seules les expositions du SSO à SSE sont jugées favorables. On a donc 2 grandes classes :

- favorable (de 135 à 225 degrés).
- non favorable (toutes les autres orientations : 0- 135 et 225-360 degrés).

Croisement des deux résultats

Les classes d'aptitudes de sols initialement disponibles sous forme de polygones sont transformées en pixels de 50 à 100 m, pour être croisées avec le critère exposition (également pixelisé) et aboutir à la localisation des sites potentiellement favorables (*figure 5b*).

Discussion

Cette étude constitue un premier travail dont les résultats montrent l'intérêt de disposer de données pédologiques relativement précises, tant au niveau sémantique que graphique. La pertinence de ce type d'exploitation de données souligne la nécessité de croiser les données pédologiques avec des données caractérisant d'autres paramètres du milieu naturel. L'ajout de données météorologiques spatialisées, en particulier pour la pluviométrie

correspondant à la période de végétation de l'arbre hôte, permettrait d'affiner le diagnostic, ce qui n'a pu être fait dans un premier temps faute de données disponibles suffisamment fines.

Par ailleurs, une validation des classes d'aptitude a été entreprise par un contrôle terrain sur les différentes truffières installées sur une partie du département (validation ponctuelle des caractéristiques du sol, existence de production...). Pour des raisons évidentes de localisation précise (confidentialité), un travail de validation de grande ampleur reste difficile à mener.

Simulation à caractère réglementaire, délimitation des Zones Humides (échelle du département)

Dans le cadre de la réglementation concernant la délimitation des zones humides (*arrêté du 24 juin 2008*), des simulations ont été effectuées sur l'ensemble du département.

La première répondant très exactement aux critères de l'arrêté de juin 2008, la seconde version ayant servi d'argumentaire visant à la modification de l'arrêté dans le cadre d'un travail mené par l'APCA et l'INRA en 2009 (*figure 6a, version 1*).

- Dans la première version du texte réglementaire, les caractéristiques pédologiques à retenir correspondaient à l'apparition de taches d'hydromorphie à moins de 50 cm et s'intensifiant en profondeur, ceci pour certains types de sols de la classification RP (Référentiel Pédologique).

Un premier tri simple a été effectué sur le nom de sol : cela a permis de sélectionner tous les sols hydromorphes correspondant aux tourbes, gleys et pseudogleys (classification CPCS), ou Histosols, Réductisols et Rédoxisols de la classification RP (Baize et Girard, 2008).

Pour les autres sols, la classe 1 d'hydromorphie (HYD = drainage faible à très faible) a été croisée avec le type de sol NAT (nom de sol CPCS transformé en nom RP).

Le caractère trop général du nom de sol CPCS (niveau groupe) et surtout la caractérisation trop globale de l'hydromorphie (globalisation des classes du GEPPA en 3 classes « d'intensité de stagnation de l'eau »³ sans précision sur la continuité ou l'intensification des signes en profondeur), ainsi que la non prise en compte de la variabilité au sein des Unités cartographiques ont conduit à une nette surestimation des surfaces en zones humides, déclinées en 3 classes (*figure 9a*, soit 29 % des sols agricoles et forestiers du département de l'Indre).

- Dans le cadre d'un groupe de travail commun entre l'APCA et l'INRA, une simulation a été faite en accord avec le projet de révision du texte : apparition des taches d'hydromorphie remontée à moins de 25 cm (au lieu de 50 cm), avec intensification en profondeur (*Arrêté du 1^{er} octobre 2009* modifiant l'arrêté du 24 juin 2008).

Les mêmes opérations ont été réalisées : tri simple pour les sols les plus humides ; croisement classe de stagnation de l'eau

et nom de sol pour les autres. Mais sur les résultats du tri, correspondant à la classe HYD < 40 cm, les variables initiales de la base de données ne permettaient pas une interrogation dans une gamme < à 25 cm.

Cette information était par contre disponible sur les données ponctuelles des profils. Les profils affectés aux sols concernés (UCS = UTS) ont fait l'objet d'une recherche sur les données descriptives : profondeur réelle d'apparition des signes d'engorgement, persistance et intensification en profondeur.

Des classes ont été définies, par approche statistique du nombre de profils par famille de sols (combinaison sol, classe d'hydromorphie) ayant tel ou tel critère de profondeur d'apparition de l'hydromorphie. Ce qui a permis de définir 4 classes correspondant à un pourcentage de surface de l'unité cartographique susceptible de correspondre au critère de la classification « zone humide » (*figure 6b, version 2*).

Ceci a permis d'affiner le résultat et de ramener le pourcentage de surface du département à 14,8 % contre 29,3 % (*figure 9a*). Parallèlement, il a été procédé à un croisement avec les filots de la PAC graphique permettant cette fois de simuler l'impact spatialisé de cette réglementation sur l'agriculture départementale.

CONCLUSIONS : VARIABLES POUR APPLICATIONS AGRONOMIQUES

Les exemples que nous venons de présenter montrent l'intérêt pour les départements de la Région Centre de disposer d'une base de données constituée de données pédologiques précises et objectives, à partir desquelles il est possible de répondre à des demandes thématiques variées, soit par combinaison des variables entre elles, soit par combinaison avec des variables issues d'autres bases. Et l'échelle choisie, suffisamment précise, permet de réaliser les restitutions aussi bien à celle de l'exploitation agricole ou de la commune (dizaines à centaines d'ha), que de la petite région ou du département.

Cependant, et le dernier exemple l'a bien démontré, les concepts de départ (variables à application agronomique, uniformisées pour l'ensemble de la région Centre - en dépit de sa diversité en matière de pédopaysages -, non variabilité prise en compte au sein des unités cartographiques de sol) conduisent, dans certains cas, à des diagnostics peu nuancés.

Si l'on veut pouvoir affiner les résultats, il est impératif d'enrichir la base de données pédologiques de la Région Centre en réorganisant les données, en complétant ou en décompactant certaines d'entre elles (telles que matériau parental, hydromorphie). Cela peut également se faire en exploitant les variables

³ Classe 1 : apparition < 40 cm ; classe 2 : apparition entre 40 et 80 cm ; classe 3 : pas de signes d'hydromorphie

des données ponctuelles, par exemple en indexant les profils à de vraies Unités Typologiques de Sol (UTS).

Depuis 2008, le département de l'Indre, tout comme les autres départements ayant la même structure de base de données, a entrepris *via* le programme IGCS⁴ (Arrouays *et al.*, 2004), de migrer cette base de données au format DONESOL (Gaultier *et al.*, 1993), dans le cadre d'un travail de synthèse à l'échelle du 1/250 000°.

Préalablement à cette migration, la base de départ à l'échelle du 1/50 000° a été enrichie par l'ajout de deux champs complémentaires caractérisant la géologie (selon la nomenclature stratigraphique du BRGM, compatible avec la nomenclature DONESOL), et ceci, à partir des informations recueillies sur les données ponctuelles (profils et sondages). Le premier complément a consisté à préciser la nature de la variable SU. Initialement, en matière de matériau parental, n'était renseignée que la nature du faciès, d'où par exemple l'impossibilité de dissocier stratigraphiquement les calcaires ou les matériaux meubles. Depuis, chacun des faciès a été rattaché à une ou plusieurs variables de la stratigraphie (40 modalités) selon des caractéristiques de nature géologique. Le second complément a consisté à différencier la stratigraphie des matériaux de recouvrements dans le cas des sols bilithiques.

De même, l'intégralité des profils (soit environ 1350) a fait l'objet d'un rattachement aux 391 UTS qui ont été retenues pour le RRP du département de l'Indre.

Outre l'intérêt évident de faciliter et sécuriser la migration de la Base Région Centre au format DONESOL, en particulier *via* des procédures géomatiques, ces deux phases d'enrichissement laissent entrevoir de nouvelles applications thématiques (Le Bas et Schnebelen, 2006), et surtout, la possibilité de rattacher à la base de données du 1/50 000° (UCS = UTS) des variables (descriptives ou analytiques) issues des profils ou des strates (Eimberck et Joly, 2008), comme par exemple, l'introduction de la variable calcaire actif qui fait actuellement défaut dans la thématique relative à la production trufficole.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient vivement Joëlle Sauter de ses précieux conseils.

BIBLIOGRAPHIE

- Arrouays D. *et al.*, 2004 - Le programme Inventaire, Gestion et Conservation des Sols de France. Etude et Gestion des Sols. Volume 11 Numéro 3, pp.187-197
- Arrêté du 9 juillet fixant la liste des espèces de vertébrés protégées menacées d'extinction en France et dont l'aire de répartition excède le territoire d'un département - Article L211-1 du Code Rural.
- Arrêté du 24 juin 2008 précisant les critères de définition et de délimitation des zones humides en application des articles L. 214-7-1 et R. 211-108 du Code de l'Environnement.
- Arrêté du 1^{er} octobre 2009 modifiant l'arrêté du 24 juin 2008 précisant les critères de définition et de délimitation des zones humides en application des articles L. 214-7-1 et R. 211-108 du Code de l'Environnement
- Baize D et Girard MC, coordinateurs, 2008 - Référentiel Pédologique. Quæ éditions. 405 p.
- BOYER, P., 2004 - Conservation du Pélobate brun *Pelobates fuscus* dans l'Indre. Rapport d'activité 2004. Indre Nature, Diren Centre, 18 p.
- Callot G. coordinateur. 1999 - La truffe, la terre, la vie. INRA Editions. 210 p.
- Cam C, Froger D., Moulin J., Rassineux J., Servant J., 1996 - Représentation cartographique de la sensibilité des sols à l'infiltration hydrique verticale - Etude et Gestion des Sols, Volume 3, Numéro 2, pp. 97-112.
- CPCS, 1967 - Classification des sols. Travaux de la Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols.96 p.
- Eggert, C., 2000 - Le déclin du Pélobate brun (*Pelobates fuscus*, amphibien anouère): apport de la phylogéographie et de la dynamique de population à sa compréhension. Implications pour sa conservation. Thèse de l'Université de Savoie, 186 p.
- Eimberck M. et Joly B., 2008 - Numérisation d'études pédologiques à moyennes échelles: méthodologie et estimation des coûts. Etude et Gestion des Sols. Volume15, numéro 1. pp. 51-68.
- Gaultier J-P., Legros J-P., Bornand M., King D., Favrot J-C., Hardy R., 1993 - L'organisation et la gestion des données pédologiques spatialisées: le projet DoneSol. Revue de Géomatique, 3, pp. 235-253.
- Grelot J-P., 1982 - Carte des sols de la Région Centre. L'apport des techniques informatiques. Bulletin d'information de l'IGN, numéro, 45. pp. 44-45.
- Jamagne M., 1967 - Bases et techniques d'une cartographie des sols. Annales Agronomique. Volume 18, Numéro hors série
- Jeauffre A., 2006 - Trufficulture: Les sols propices à la production de la truffe noire dans le département de l'Indre. Mémoire d'étudiant Licence Professionnelle - Chambre d'Agriculture de l'Indre - 37 p.
- Lacoste V. & Durrer H., 1999 - Past distribution and current status of the common spadefoot (*Pelobates fuscus*) in the plain of the Upper Rhine and strategies of re-introduction, pp. 239-248, *In*: Miaud C. & Guyetant G. (eds): Current studies in Herpetology, Le Bourget du Lac (SEH), 480 p.
- Le Bas C. et Schnebelen N., 2006 - Utilisation des données sols d'IGCS en France. Etude et Gestion des Sols. Volume 11, Numéro 3, pp. 237-246.
- Moulin J. et Boyer P., 2007 - Sols et conservation des Pélobates Bruns dans l'Indre. La Lettre du Gis Sol n°12.
- Studer R., 1982 - Dans la région Centre: une carte des sols...pour quoi faire ? La France Agricole, numéro 1923, pp. 35-37.
- Studer R., 1984 - Carte des sols: exemple du Centre. Cultivar, numéro 171, pp.97-99.
- Suder R., 1986 - La carte des sols: ses caractéristiques et ses perspectives d'utilisation à l'échelle de l'exploitation agricole. Techniques Agricoles. 1375. pp. 1-8.
- Studer R. *et al.*, 1982 - La carte des sols de la Région Centre. Bulletin d'information de l'IGN, numéro, 45. pp 41 - 43.

⁴ Programme national Inventaire, Gestion et Conservation des Sols

- Sourzat A., 2004 - Questions d'écologies appliquées à la trufficulture - Lycée agricole Le Montat
- Thirion J.-M., Boyer P., Dohogne R. et Evrard P., 2001 - Redécouverte du Pélobate brun *Pelobates fuscus* (Laurenti, 1768) (*ANURA, Pelobatidae*) dans le Centre-Ouest de la France. *Zamenis, rev. Herp. Poitou-Charentes Nature*, n°7: pp. 11-13.
- Vacher J.-P., Ackerman D., Boyer P. et Koenig J.-C. (*in prep.*) Statut actuel du Pélobate brun *Pelobates fuscus* (Laurenti, 1768) (*Amphibia, Pelobatidae*) en France. *Bull. Soc. Herp. Fr.*
- Verlhac A., 1990 - La truffe, guide pratique - CTIFL Paris

