HAL open science

Connaître les sols pour préserver la ressource en eau : guide d'application à l'échelle d'un territoire

Nathalie Bourennane-Schnebelen, Jean-Luc Fort, Micheline Eimberck, Jean-Luc Fort, Blandine Lemercier, Sébastien Minette, Jean-Pierre Rossignol, Joëlle Sauter, Olivier Scheurer, Nathalie Bourennane-Schnebelen

To cite this version:

Nathalie Bourennane-Schnebelen, Jean-Luc Fort (Dir.). Connaître les sols pour préserver la ressource en eau : guide d'application à l'échelle d'un territoire. INRA, 85 p., 2008, 978-2-7380-1253-1. hal-02817773

HAL Id: hal-02817773

https://hal.inrae.fr/hal-02817773v1

Submitted on 11 Dec 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Connaître les sols pour préserver la ressource en eau

Groupement d'intérêt scientifique

Guide d'application à l'échelle d'un territoire

Guide réalisé dans le cadre du « Groupement d'Intérêt Scientifique sur les sols » (Gis Sol), par le groupe de travail « Projets » du programme national « Inventaire, Gestion et Conservation des Sols » (IGCS).

Groupement d'intérêt scientifique sol

Le Gis Sol a été créé en 2001. Il regroupe le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (MAP), le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire (MEEDDAT) représenté par l'Institut français de l'environnement (Ifen), l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) et l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD). Ses missions sont les suivantes :

- Coordonner les actions d'inventaire et de cartographie des sols et de suivi de leur qualité. Le Gis Sol assure l'harmonisation et la cohérence des efforts entrepris par les acteurs régionaux et nationaux, dans l'objectif de doter la France d'un système performant d'information sur les sols. Il s'implique dans les programmes européens et internationaux.
- Concevoir des méthodes communes de collecte, de gestion, de traitement et de valorisation des données. Le Gis Sol s'appuie sur les résultats de la recherche, les savoir-faire de ses partenaires et sur l'expertise régionale et locale.
- Diffuser largement l'information sur les sols en répondant aux demandes des pouvoirs publics et de la société. Le Gis Sol facilite l'accès à cette information par ses publications, son site internet, ses actions de sensibilisation et de formation sur les sols.

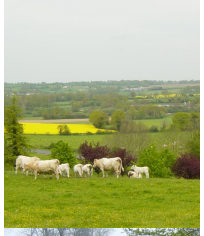
Pour plus d'information : http://www.gissol.fr/

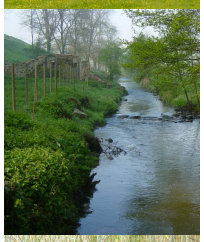
Inventaire, gestion et conservation des sols sol

Le programme IGCS est un des programmes menés par le Gis Sol. Il propose aux régions un appui pour réaliser un inventaire de leurs sols à différentes échelles. Il offre un modèle de structure informatique pour organiser les données recueillies. Les bases de données produites, rendues cohérentes d'une région à l'autre, permettent la création d'outils cartographiques d'aide à la décision pour l'agriculture, l'environnement et l'aménagement des territoires.

Ce programme est coordonné par l'Unité Infosol de l'INRA d'Orléans. Il s'appuie sur de nombreux partenaires régionaux qui mutualisent leurs expériences, compétences, outils et moyens au sein d'un groupe de travail appelé groupe « Projets ».

Pour plus d'information : http://www.gissol.fr/programme/igcs/igcs.php





Coordination du guide : N. Bourennane Schnebelen (INRA Orléans), JL. Fort (CRA PC)

Auteurs principaux : M. Eimberck (INRA Orléans), J.L. Fort (CRA PC), B. Foucaud Lemercier (Agrocampus Ouest), S. Minette (CRA PC), J.P. Rossignol (Agrocampus Ouest), J. Sauter (ARAA), O. Scheurer (IP LaSalle Beauvais), N. Bourennane Schnebelen (INRA Orléans).

Ont également contribué à la rédaction : S. Barthès-Estela (CRA Languedoc-Roussillon), M.L. Burtin (ARAA), C. Cam (CRA PC), J. Daroussin (INRA Orléans), D. Froger (CDA Indre-et-Loire), J. Gourmelon (ENESAD-CNERTA), E. Hance (CRA Lorraine), Ph. Lagacherie (INRA Montpellier), B. Laroche (INRA Orléans), F. Laurent (Université du Maine).

Crédits photos : V. Antoni (MEEDDAT - INRA Orléans), N. Bourennane Schnebelen (INRA Orléans), C. Cam (CRA PC), B. Foucaud Lemercier (AGROCAMPUS OUEST), C. Maître (INRA Paris), S. Minette (CRA PC), Ch. Schvartz (ISA Lille).

Maquette réalisée par S. Desbourdes (INRA Orléans)

Référence à citer :
Bourennane Schnebelen N. et Fort J.L. Coord. (2008) – *Connaître les sols pour préserver la ressource en eau. Guide d'application à l'échelle d'un territoire.* Gis Sol, groupe « Projets » IGCS, INRA Orléans, France, 84 p.

Guide disponible gratuitement à l'adresse suivante : http://www.gissol.fr/

INRA Paris, 2008 – ISBN : 978-2-7380-1253-1

Avant-propos

Le sol est un compartiment essentiel vis-à-vis du cycle de l'eau. Situé en position d'interface dans l'environnement, il régule les flux d'eau et de solutés vers les nappes souterraines et les eaux superficielles. Ses propriétés hydriques et hydrauliques contrôlent la vitesse et la direction des circulations les plus superficielles de l'eau. Par ses propriétés d'adsorption et de désorption, il intervient dans la fixation ou la libération d'un grand nombre d'éléments et de molécules. Grâce à l'activité de ses micro-organismes, il transforme et dégrade les composés et les molécules organiques. Dès lors, il apparaît évident que la prise en compte des propriétés et de l'organisation des sols est indispensable à la compréhension et à la gestion des flux participant à l'élaboration de la qualité des eaux souterraines et superficielles.

A l'heure où de très nombreuses actions sont entreprises localement pour parvenir à une meilleure gestion de la qualité des eaux, il nous est apparu nécessaire de produire une synthèse méthodologique pouvant servir de guide et de référence pour les acteurs souhaitant mettre en place de telles opérations. Ce guide est destiné à toutes celles et à tous ceux qui s'intéressent à la gestion qualitative de la ressource en eau. Il les invite à (re)découvrir l'intimité du lien naturel qui unit le sol et l'eau en leur proposant une méthodologie pratique d'acquisition et d'utilisation de la connaissance des sols, à l'échelle de petits territoires.

Qu'il ait été élaboré à l'initiative du Gis Sol, structure nationale, ne doit cependant pas surprendre. En effet, le Gis Sol a pour mission de constituer le système national d'information sur les sols de France et sur l'évolution de leurs qualités, ce qui implique une démarche partenariale, clairement traduite dans le mode de fonctionnement du programme I.G.C.S., dédié à la cartographie pédologique numérisée.

Au-delà de l'assurance de mieux répondre aux attentes des partenaires impliqués, une telle démarche favorise l'identification des besoins à satisfaire pour assurer la transmission et l'utilisation des connaissances acquises. Le groupe « Projets » du programme I.G.C.S. assume cette tâche essentielle. Il contribue ainsi à accroître l'efficacité du Gis Sol au service de la sensibilisation à l'importance de la prise en compte des sols dans l'élaboration des politiques publiques.

Cette synthèse est le fruit de la collaboration de nombreux spécialistes « de terrain », ayant tous mené de telles opérations à l'échelle de bassins versants. Elle bénéficie ainsi de l'expérience de l'ensemble d'une communauté technique et scientifique, comme de la diversité des contextes locaux qui ont pu être appréhendés sur notre territoire. Ce guide méthodologique est clairement orienté vers la mise en œuvre d'actions opérationnelles. Il apporte des réponses claires et pratiques à des questions simples, telles que la connaissance des sols, pour quoi faire ? Comment l'acquérir ? Comment l'utiliser et comment organiser les connaissances dans un espace géographique donné ? Cette volonté de pragmatisme est également traduite dans l'organisation, par le groupe « Projets », d'actions de formation à l'utilisation des bases de données sur les sols.

Ainsi, à l'heure où s'élabore un projet de directive européenne pour la protection des sols destinée à compléter le cadre réglementaire européen pour la protection de l'environnement, le Gis Sol entend démontrer la pertinence de ses programmes au service de la conduite des politiques publiques depuis le niveau local jusqu'aux niveaux national et européen.

Didier Rat, Co-Président du Groupement d'Intérêt Scientifique Sol, MAP
Dominique Arrouays, Directeur de l'Unité Infosol, INRA

Table des matières

Avant-propos i
Auteurs et collaborateurs v
Introduction 3

Chapitre 1. La connaissance des sols sur un territoire, pour quoi faire ?

1.1. Pourquoi prendre en compte les sols à l'échelle d'un territoire à enjeu « qualité de l'eau » ? 9

D'un point de vue scientifique
- Les sols, déterminants de la dynamique de l'eau
- Les sols, déterminants des processus de pollution des eaux
- Les sols, déterminants des pratiques agricoles, des systèmes de culture et de production

D'un point de vue réglementaire
- Les sols dans les textes réglementaires sur l'eau
- Quelques exemples de prise en compte des sols
- Quelques textes réglementaires

1.2. La connaissance des sols s'inscrit dans une logique d'actions à mener : Quels besoins pour quelles actions ? Quels outils ? 21

Quels besoins pour quelles actions ?
- Les actions à mener
- Les outils de connaissance des sols nécessaires

Quels outils ?
- Utilisation pour le diagnostic
- Conception et diffusion de solutions techniques

Chapitre 2. La connaissance des sols sur un territoire, comment l'acquérir ?

2.1. Typologie des sols 29

Définition et objectifs d'une typologie des sols

Réalisation d'une typologie
- Typologie régionale ou typologie locale ?
- Utilisation d'une typologie régionale existante
- Réalisation d'une typologie locale (ou régionale)

Comment obtenir des typologies opérationnelles ?
- Simplification de la typologie
- Clé de détermination

2.2. Zonage et cartographie des sols 36

Zonage aux dires d'agriculteurs et d'experts sur la base d'une typologie locale

L'esquisse pédologique

La carte des sols
- Principes généraux
- Etapes de réalisation
- Précision de la carte

Chapitre 3. La connaissance des sols sur un territoire, comment l'utiliser pour répondre à des problématiques concrètes ?

3.1. La définition claire des problématiques : un passage obligé 45

Quelles questions et dans quels registres ?

Exemples de questions dans le registre « compréhension et quantification des processus »

Exemples de questions dans le registre « élaboration de références pour l'action »

3.2. Avec quels outils et méthodes répondre à ces questions ? 47

Dires d'experts

Données recueillies sur le terrain

Utilisation d'indicateurs « simples »

Fonctions ou règles de pédotransfert

Approche par simulation à partir de modèles plus ou moins complexes

3.3. Illustrations par deux cas concrets de ces différentes approches ; intérêts et limites de ces approches 50

Question 1 : estimation de « l'objectif de rendement » d'un blé tendre en fonction du type de sol

Question 2 : estimation du Réservoir Utilisable Maximal (RUM) en eau des sols d'un Territoire

3.4. Quelques exemples de questions et d'utilisation des données « sols » 53

3.5. Quelques exemples d'indicateurs et de modèles mobilisant des données sols 63

Chapitre 4. Au-delà des données sur les sols, comment organiser les connaissances acquises pour un espace géographique donné ?

4.1. Pourquoi organiser les données ? 69

Des données nombreuses…

et de nombreuses raisons de les organiser

4.2. Quelles données faut-il prendre en compte ? 70

Contexte géologique, morphologique et hydrographique des sols

Données météorologiques

Données sur l'utilisation de l'espace

Données sur les sols

Zonages réglementaires

Données sur les autres activités humaines

Données sur les ressources en eau

4.3. Forme d'organisation des données 72

Une organisation de plus en plus informatisée

Des données descriptives et des données géographiques

4.4. Sources des bases de données 74

Quelques sources de données numériques parmi les plus utilisées

Des offres en données variables selon les territoires

Lexique 79

Encadrés « Éclairage »

Définition du risque 3

Exemple des capacités de rétention et de transformations chimiques des sols vis-à-vis des nitrates 12

Exemple des capacités de rétention et de transformations chimiques des sols vis-à-vis des produits phytosanitaires 13

Stratégie thématique européenne pour la protection des sols 19

Sources d'informations pédologiques disponibles ou à mobiliser 32

Principales démarches en cartographie des sols 38

Précision d'une carte des sols 40

Fiche 1. Evaluation des risques de pollution par les nitrates pour différents sols de la région Poitou-Charentes – Impact des cultures intermédiaires pièges à nitrates (CIPAN) (utilisation du modèle STICS) 54

Fiche 2. Evaluation du réservoir utile maximal (RUM) des sols de la région Poitou-Charentes 55

Fiche 3. Classification des bassins versants alsaciens en fonction de leur sensibilité aux produits phytosanitaires 56

Fiche 4. Grille de risque pour une opération FERTI-MIEUX de conseil aux agriculteurs pour limiter les fuites de nitrates en Alsace 57

Fiche 5. Hiérarchisation des risques potentiels de pertes d'azote par lixiviation en fonction des successions de cultures et des pratiques de fertilisation et de gestion de l'interculture : indicateur MERLIN 58

Fiche 6. Références pour la détermination d'objectifs de rendement par type de sol en Lorraine 59

Fiche 7. Estimation de l'aléa érosif des sols en région Languedoc-Roussillon et confrontation aux enjeux locaux 60

Fiche 8. Etude, par simulation, de l'impact de scénarios de changements de pratiques ou de choix culturaux sur la qualité des eaux (utilisation du modèle SWAT) 61

Fiche 9. Estimation de l'aptitude à l'épandage d'effluents organiques sur les sols. 62

Données géographiques en mode raster ou vecteur ? 73

Coordination

Nathalie Bourennane Schnebelen (INRA Orléans)
Jean-Luc Fort (Chambre Régionale d'Agriculture de Poitou-Charentes)

Auteurs principaux

Nom	*Organisme d'appartenance et qualité*	*Adresse postale* *Téléphone* *Adresse électronique*
Micheline Eimberck	Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) – Centre d'Orléans Pédologue-cartographe, coordinatrice nationale du programme IGCS (moyennes échelles)	INRA - US1106 Unité de Service Infosol 2163 avenue de la pomme de pin, CS 40001 Ardon 45075 ORLÉANS Cedex 2 Tél +33 (0)2 38 41 78 87 Micheline.Eimberck@orleans.inra.fr
Jean-Luc Fort	Chambre Régionale d'Agriculture de Poitou-Charentes Responsable du Service Agronomie Environnement	CRA Poitou-Charentes BP 50002 86550 MIGNALOUX BEAUVOIR Tél +33 (0)5 49 44 74 88 jean-luc.fort@poitou-charentes.chambagri.fr
Blandine Foucaud Lemercier	AGROCAMPUS OUEST – Centre de Rennes Ingénieur pédologue, coordinatrice du programme « Sols de Bretagne », déclinaison d'IGCS et du RMQS en Bretagne	UMR INRA / AGROCAMPUS OUEST Sol Agro et hydrosystème Spatialisation 65 rue de Saint-Brieuc, CS 84 215 35042 RENNES Cedex Tél +33 (0)2 23 48 52 29 Blandine.Lemercier@agrocampus-ouest.fr
Sébastien Minette	Chambre Régionale d'Agriculture de Poitou-Charentes (Agro-Transfert) Ingénieur agronome, responsable du projet « Eaux & Territoires »	CRA Poitou-Charentes, INRA Les Verrines 86600 LUSIGNAN Tél +33 (0)5 49 55 61 74 sebastien.minette@poitou-charentes.chambagri.fr
Jean-Pierre Rossignol	AGROCAMPUS OUEST – Centre d'Angers Maître de Conférences en science des sols (retraité)	AGROCAMPUS OUEST - Centre d'Angers Institut National d'Horticulture et de Paysage Département de Génie Agronomique 2 rue Le Nôtre, 49045 ANGERS Cedex 01 Tél +33 (0)2 41 22 54 95
Joëlle Sauter	Association pour la Relance Agronomique en Alsace (ARAA) Ingénieur agronome, gestionnaire de la base de données régionale sur les sols d'Alsace IGCS	ARAA 2 rue de Rome B.P. 30022 SCHILTIGHEIM 67 013 STRASBOURG Cedex Tél +33 (0)3 88 19 17 52 araa@bas-rhin.chambagri.fr
Olivier Scheurer	Institut polytechnique Lasalle Beauvais Enseignant-chercheur agro-pédologue, correspondant régional du programme IGCS	Institut polytechnique Lasalle Beauvais BP 30313 60026 BEAUVAIS Cedex Tél +33 (0)3 44 06 25 20 olivier.scheurer@lasalle-beauvais.fr
Nathalie Bourennane Schnebelen	Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) - Centre d'Orléans Pédologue-hydrogéologue, coordinatrice nationale du programme IGCS (Référentiels Régionaux Pédologiques)	INRA - US1106 Unité de Service Infosol 2163 avenue de la pomme de pin, CS 40001 Ardon 45075 ORLÉANS Cedex 2 Tél +33 (0)2 38 41 78 50 Nathalie.Schnebelen@orleans.inra.fr

Contributeurs

Nom	*Organisme d'appartenance et qualité*	*Adresse électronique*
Sylvie Barthès-Estela	Chambre Régionale d'Agriculture de Languedoc-Roussillon Chargée d'études SIG	sylvie.barthes@languedocroussillon.chambagri.fr
Marie-Line Burtin	Association pour la Relance Agronomique en Alsace (ARAA) Ingénieur agronome	araa@bas-rhin.chambagri.fr
Catherine Cam	Chambre Régionale d'Agriculture de Poitou-Charentes Pédologue et cartographe du programme IGCS en Poitou-Charentes	catherine.cam@poitou-charentes.chambagri.fr
Joël Daroussin	Institut National de la recherche Agronomique (INRA) – Centre d'Orléans Ingénieur géomaticien	Joel.Daroussin@orleans.inra.fr
David Froger	Chambre Départementale d'Agriculture d'Indre-et-Loire Chargé de mission Espace Rural, coordonnateur du programme IGCS en Indre-et-Loire	amenagt@indre-et-loire.chambagri.fr
Jérôme Gourmelon	ENESAD-CNERTA Ingénieur d'étude, pédologue et cartographe du programme « Sols et Territoires de Bourgogne »	http://www.igcs-stb.org
Emmanuel Hance	Chambre Régionale d'Agriculture de Lorraine Ingénieur agronome, coordinateur du programme IGCS en Lorraine	emmanuel.hance@lorraine.chambagri.fr
Philippe Lagacherie	Institut National de la recherche Agronomique (INRA) – Centre de Montpellier Ingénieur de recherche agro-pédologue	lagache@ensam.inra.fr
Bertrand Laroche	Institut National de la recherche Agronomique (INRA) – Centre d'Orléans Pédologue-cartographe, chargé de la qualité des bases de données sol du programme IGCS	Bertrand.Laroche@orleans.inra.fr
François Laurent	Université du Maine – Le Mans Maître de conférences en hydrologie	Francois.Laurent@univ-lemans.fr

Introduction

Introduction

Depuis quelques années les actions locales pour la préservation des ressources en eau souterraine ou superficielle se multiplient. Elles visent à promouvoir des pratiques agricoles ou des aménagements de l'espace limitant les risques de pollution. Elles sont menées au niveau de bassins versants ou de bassins d'alimentation en eau qui sont les unités fonctionnelles pertinentes pour ces problématiques.

Ces actions s'inscrivent pour la plupart soit dans une perspective de prévention, soit dans un contexte de pollution déjà avérée, voire de crise, qui s'impose aux différents acteurs. Dans ce deuxième cas, les objectifs sont essentiellement de restaurer la qualité de l'eau, généralement avec des attentes de résultats à court terme.

Les opérations à mener se répartissent en quatre étapes :

- Mise en œuvre d'un diagnostic ;
- Définition des objectifs (objectifs finaux et intermédiaires) ;
- Elaboration d'un programme d'actions :
  - la production de références pour l'action et le conseil,
  - promotion de nouvelles pratiques agricoles, aménagement du territoire ;
- Suivi et évaluation du programme d'actions et de ses résultats.

La ressource en eau peut être affectée par des pollutions d'origine ponctuelle ou diffuse. Les éléments concernés sont principalement les nitrates ou les phosphates, les produits phytosanitaires ou les matières en suspension (érosion). Le risque dépend à la fois des enjeux, des pratiques (pression polluante) et de la sensibilité du milieu.

Éclairage

Le risque au sens général résulte :

- de « la combinaison, d'une part, de la probabilité qu'un événement défavorable se produise - ou aléa – et, d'autre part, de la gravité de ses conséquences – ou enjeux » (définition de la Commission Européenne) ;
- de la « conjonction d'un potentiel de contamination et d'un enjeu » (définition du CORPEN, 2003).

Que retenir ?

Le sol est un élément essentiel du milieu. Il détermine les pratiques agricoles et leurs effets mais aussi les mécanismes de circulation de l'eau et de transfert des polluants. La dimension sol doit donc impérativement être prise en compte dans toutes ces actions.

L'objectif de ce guide

Suivant les actions menées et les polluants visés, les besoins, donc la demande de références pédologiques sont variés ; par ailleurs selon les régions, l'offre de connaissances sur les sols est hétérogène et plus ou moins aboutie. Le but de ce document est d'aider à mettre en adéquation offre et demande.

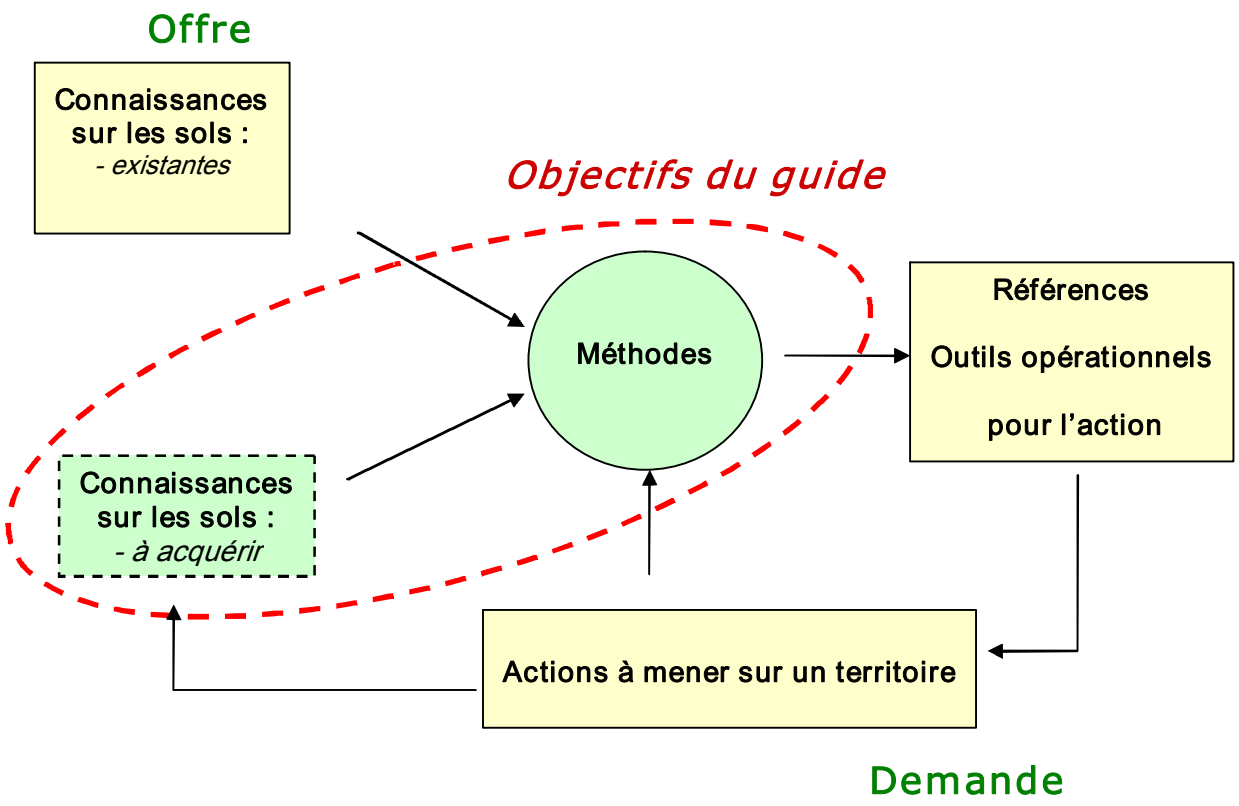
L'objectif de ce guide est donc de proposer des méthodes pour intégrer la dimension sol dans des outils ou références opérationnels. Ces derniers serviront à définir des actions de préservation de la ressource en eau, adaptées à la diversité des objectifs et des situations locales.

- Si les données sur les sols sont inexistantes ou largement insuffisantes : ce document présente quelles sont les données nécessaires, comment les collecter et sous quelle forme ;

- Si des données sur les sols sont disponibles : des méthodes sont proposées pour savoir comment bien utiliser ces données, les combiner avec d'autres données (occupation du sol, météo, pratiques agricoles, etc.) et les mettre en forme pour répondre au mieux aux besoins ou actions à mener sur un territoire.

Ce guide privilégie les aspects qualitatifs de la ressource en eau. Cependant, les démarches présentées peuvent aussi s'appliquer à des aspects quantitatifs. Il n'a pas l'ambition d'être exhaustif ni de livrer un cahier des charges détaillé pour qui veut protéger la ressource en eau d'un espace géographique donné. Il propose des réponses aux principales questions qu'on doit se poser, illustrées par des exemples. Le lecteur souhaitant approfondir certains points trouvera des renvois bibliographiques et une liste de personnes ressources.

Il ne traite pas des pollutions non agricoles.



L'OBJECTIF DE CE GUIDE EST DE PROPOSER DES METHODES POUR INTEGRER LA DIMENSION SOL DANS DES OUTILS OPERATIONNELS EN ADEQUATION AVEC LES ACTIONS A MENER ET L'ETAT DES CONNAISSANCES EXISTANTES.

Chacun y trouve son compte…

Deux niveaux de lecture du document sont possibles :

Un premier niveau donne des pistes pour orienter des actions à l'échelle locale

Ce niveau s'adresse plutôt aux représentants de l'administration ou d'une collectivité territoriale (Agence de l'eau, DIREN, Conseil Général ou Régional), financeurs, décideurs locaux, ou encore aux animateurs de bassins versants (syndicats des eaux, collectivités locales ou territoriales).

Un second niveau de lecture propose des méthodes pour intégrer la dimension sol dans des outils ou références opérationnels

Ce niveau s'adresse plutôt aux chargés d'étude en agri-environnement, aux conseillers agricoles qui ont à réaliser des diagnostics de territoire ou/et d'exploitations, à produire des références et à mettre en œuvre des programmes d'actions.

Le document s'articule autour de 4 chapitres

Chapitre 1. La connaissance des sols, pour quoi faire ?

Ce chapitre explique pourquoi il est important de prendre en compte les sols à l'échelle d'un territoire présentant un enjeu lié à la qualité des eaux. La question est abordée sous un angle scientifique et réglementaire.

Par ailleurs, des éléments sont apportés pour aider à distinguer quelle connaissance des sols est nécessaire, quel niveau de précision est requis et si elle doit être spatialisée ou non.

Chapitre 2. La connaissance des sols sur un territoire, comment l'acquérir ?

Le besoin en connaissance des sols étant bien identifié, ce chapitre donne des éléments pour construire le cahier des charges qui répondra le mieux à la demande. Il montre comment élaborer, d'une part une typologie locale, d'autre part un zonage ou une carte des sols, en valorisant les données existantes.

Chapitre 3. La connaissance des sols sur un territoire, comment l'utiliser pour répondre à des problématiques concrètes ?

La diversité des questions dans lesquelles la connaissance des sols doit être mobilisée est illustrée par une liste d'exemples concrets, aussi bien dans le registre « compréhension des mécanismes et phénomènes » que dans le registre « élaboration de références pour l'action ». Les différentes méthodes permettant de traiter ce type de questions sont ensuite présentées brièvement et comparées.

Enfin, pour illustrer l'ensemble, des fiches d'exemples abordent la diversité des questions et utilisations de données sur les sols dans différents contextes.

Chapitre 4. Au-delà des données sur les sols, comment organiser les connaissances acquises pour un espace géographique donné ?

Pour élaborer des actions de préservation de la ressource en eau, il est indispensable d'avoir des données fiables sur les sols, mais aussi de les croiser avec différentes données complémentaires afin d'améliorer la connaissance du milieu. De plus en plus, cette connaissance des territoires est structurée en bases de données et en systèmes d'information géographique qui assurent un accès rapide aux données et leur conservation et valorisation.

Pourquoi organiser les données ? Lesquelles prendre en compte ? Comment ? Une liste non exhaustive de données pertinentes est proposée.

Pour en savoir plus…

- **CORPEN (2003)** – *Eléments méthodologiques pour un diagnostic régional de la contamination des eaux liée à l'utilisation des produits phytosanitaires. Utilisation des outils de traitement de l'information géographique : SIG.* Groupe Phytoprat-SIG, 84 pages.

Chapitre 1

La connaissance des sols sur un territoire, pour quoi faire ?

Chapitre 1. La connaissance des sols sur un territoire, pour quoi faire ?

Avant d'envisager l'acquisition de données relatives au sol, les besoins doivent être précisément identifiés. Sur un territoire donné, ils sont déterminés, d'une part, par le rôle que joue le sol dans la préservation de la ressource en eau et, d'autre part, par le type d'action à mener. Ce chapitre apporte un éclairage sur ces deux aspects.

1.1. Pourquoi prendre en compte les sols à l'échelle d'un territoire à enjeu « qualité de l'eau » ?

D'un point de vue scientifique

Les acteurs territoriaux sont maintenant bien informés des différents risques pesant sur les ressources en eau à l'échelle d'un territoire du fait :

- de sécheresses frappant les sols, la végétation naturelle et les cultures, les cours d'eau et les nappes d'eau souterraine ou, au contraire, d'inondations par les crues des cours d'eau ou les remontées de nappes ;
- de pollutions diverses de ces mêmes eaux par des substances minérales et organiques, et des micro-organismes.

En revanche, les acteurs territoriaux sont souvent moins sensibilisés à la prise en compte des sols dans l'évaluation et la gestion de ces risques. Les sols ont en effet un rôle déterminant sur la dynamique de l'eau à l'échelle d'un territoire. Ils interviennent dans les processus de pollution des eaux par leurs fonctions de transfert, de rétention et de dégradation des substances polluantes. Enfin, les sols ont une place essentielle dans le choix des systèmes d'exploitation et de culture et des aménagements de maîtrise de l'eau (irrigation, drainage agricole).

Les sols, déterminants de la dynamique de l'eau

Les caractéristiques des sols déterminent en grande partie la part des eaux de pluie qui ruisselle à la surface du sol et rejoint les eaux superficielles, et la part qui s'infiltre dans le sol. Cette dernière est en partie stockée dans le sol ; l'excédent percole et recharge les nappes d'eau souterraine. L'eau infiltrée peut aussi s'écouler latéralement par ruissellement hypodermique.

Deux propriétés des sols interviennent dans ces différents processus : leur capacité d'infiltration et leur capacité de stockage de l'eau :

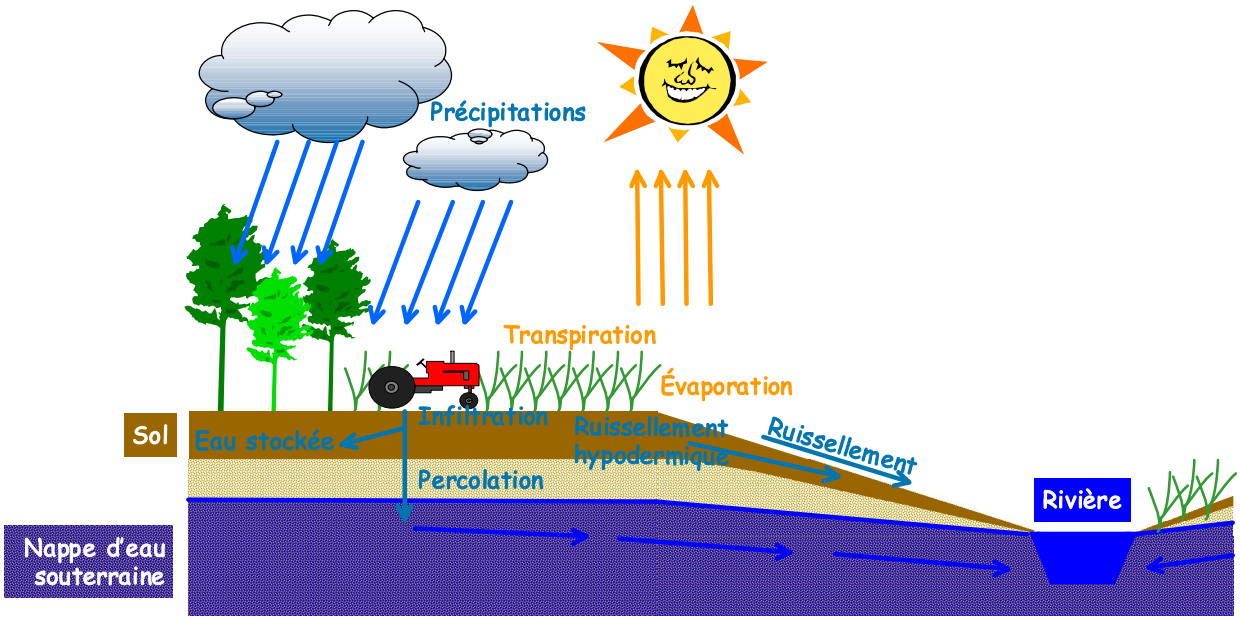
- la capacité d'infiltration intervient essentiellement sur la répartition de l'eau de pluie entre la fraction qui ruisselle et la fraction qui s'infiltre ;
- la capacité de stockage conditionne plutôt la quantité d'eau susceptible de percoler.

Des sols sensibles au ruissellement de l'eau ou à l'érosion, d'autres sensibles à la percolation de l'eau

Les sols à faible capacité d'infiltration de l'eau, tels que les sols battants (fermeture de la porosité de surface) ou engorgés en eau, sont sensibles au ruissellement et éventuellement à l'érosion. A l'inverse, l'eau percole plus rapidement dans les sols perméables tels que les sols à texture sableuse ou les sols présentant des fissures.

Des sols pouvant stocker plus ou moins d'eau

La capacité de stockage en eau des sols, et notamment sa partie accessible à la végétation appelée réservoir utilisable maximal (RUM), varie en fonction de la texture, de la structure et de la profondeur d'enracinement maximale des sols. A profondeurs utiles égales, les sols à texture sableuse ont un plus faible réservoir que les sols à texture limono-argileuse. Les sols à faible réservoir entraînent des contraintes sur les cultures (risque de déficit hydrique) mais permettent une recharge en eau plus importante des nappes.



LES CAPACITES DU SOL A L'INFILTRATION ET AU STOCKAGE DE L'EAU SONT DETERMINANTES DES VOIES DE TRANSFERT DE L'EAU SUR UN TERRITOIRE (© INRA ORLEANS)

Que retenir ?

A l'échelle d'un territoire, la prise en compte des sols, de leur répartition dans le paysage et de leurs caractéristiques hydriques, est donc un élément indispensable dans l'évaluation et la gestion du risque « quantité d'eau ». Elle permet de :

- comprendre la dynamique de l'eau sur le territoire ;
- délimiter les zones sensibles au ruissellement, à l'érosion, à l'infiltration vers les nappes d'eau souterraine, à l'excès d'eau ou au manque d'eau.

Les sols, déterminants des processus de pollution des eaux

Les sols ont deux rôles dans les phénomènes de pollution des eaux :

- celui de rétention et de transformation chimique (dégradation) des substances apportées au sol ;
- celui de favoriser ou non le transfert de ces substances vers les eaux superficielles ou souterraines.

Des sols plus ou moins aptes à retenir et transformer chimiquement les polluants

Les propriétés microbiologiques, physico-chimiques et chimiques des sols leurs confèrent les capacités de retenir et de transformer chimiquement les substances polluantes.

De façon générale, la capacité de rétention des sols a un effet protecteur sur la pollution des eaux en limitant la concentration en substances polluantes des eaux qui ruissellent ou qui s'infiltrent. Toutefois, pour les sols sensibles à l'érosion, la rétention peut avoir un effet source de polluants vis-à-vis des eaux de surface du fait de l'entraînement de substances avec les particules de sol. Pour les eaux souterraines, cet effet est très limité car le transport particulaire dans le sol est peu important.

Quant à la capacité de transformations chimiques des sols, elle peut avoir un effet protecteur sur la pollution des eaux si elle conduit au déplacement ou à la limitation des substances polluantes (cas de la dénitrification par exemple) ou, au contraire, un effet source si elle conduit à la formation de métabolites polluants (cas des produits phytosanitaires par exemple).

Lorsque la résultante des capacités de rétention et de transformations chimiques est une diminution des quantités de substances présentes à l'état dissous dans l'eau stockée par les sols ou dans l'eau circulant à la surface des sols, les sols exercent un effet protecteur vis-à-vis des eaux de surface et des eaux souterraines. Lorsque la résultante est à l'inverse une augmentation de ces quantités, les sols se comportent comme une source de polluants.

Les capacités de rétention et de transformations chimiques des sols et leurs effets sur le risque de pollution des eaux varient en fonction du type de sol et du type de substances polluantes :

- physico-chimiques (nitrates, produits phytosanitaires, phosphates, éléments traces métalliques, etc.) ;
- microbiologiques (organismes pathogènes).

Deux exemples sont présentés en détail : le cas des nitrates et le cas des produits phytosanitaires.

Des sols sensibles au transfert de polluants par ruissellement ou érosion, d'autres sensibles au transfert de polluants par infiltration

Les sols intervenant dans la répartition de l'eau entre la part qui va ruisseler et celle qui va s'infiltrer, ils déterminent également le mode de transfert vers les eaux des substances apportées au sol. Ainsi, les sols sensibles au ruissellement et à l'érosion favorisent le transfert des substances polluantes par ruissellement et par entraînement de particules vers les cours d'eau. Les sols sensibles à l'infiltration favorisent au contraire la lixiviation de substances vers les nappes d'eau souterraine, notamment si ces substances ne sont pas immobilisées et dégradées dans les sols.

Que retenir ?

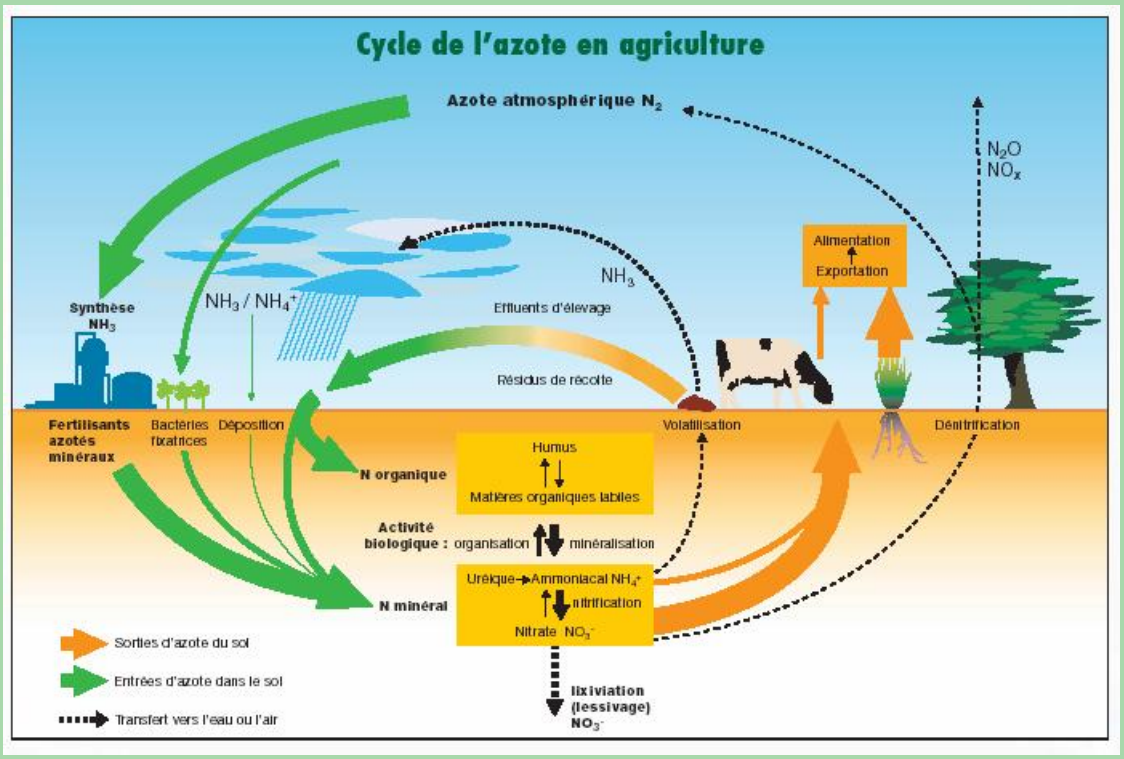
A l'échelle d'un territoire, la prise en compte des sols, de leur répartition dans le paysage, de leurs caractéristiques hydriques et de leurs propriétés microbiologiques, physico-chimiques et chimiques vis-à-vis des différents polluants, est donc un élément indispensable à l'évaluation et à la gestion du risque « qualité de l'eau ». Elle permet de :

- comprendre les processus de pollution des eaux de surface et souterraine ;
- délimiter les zones sensibles au transfert de polluants par ruissellement et érosion, ou les zones sensibles au transfert de polluants par infiltration ; préciser, à l'intérieur de ces zones, les capacités de rétention et de transformations chimiques des substances polluantes par les sols et l'effet protecteur ou source de polluants induit par ces capacités.

Éclairage

Exemple des capacités de rétention et de transformations chimiques des sols vis-à-vis des nitrates

Les nitrates (NO_3^-) constituent une des formes minérales de l'azote du sol. Solubles dans l'eau, ils se retrouvent naturellement, en faible teneur (<10 mg/l), dans les eaux superficielles et souterraines. Des apports supplémentaires peuvent conduire à une augmentation importante des teneurs en nitrates dans les eaux. Il s'agit notamment, en milieu agricole, des fertilisants azotés minéraux apportés aux cultures, de la minéralisation de divers produits organiques issus des cultures (résidus de récolte) ou apportés au sol (effluents d'élevage, boues et déchets divers, etc.), mais aussi des apports atmosphériques par déposition ou précipitation, et de la fixation par certaines bactéries symbiotiques du sol.



CYCLE SIMPLIFIE DE L'AZOTE EN AGRICULTURE (© UNIFA)

Les sols interviennent dans les processus de pollution des eaux par les nitrates par leurs capacités de rétention et de transformations chimiques.

- La rétention physico-chimique des nitrates est quasiment nulle dans les sols des régions tempérées. Par contre, la rétention microbiologique est importante et a un effet protecteur sur la pollution des eaux. Cette rétention est due (Calvet, 2003) :
  - à l'absorption racinaire par les plantes ; le maintien d'une couverture végétale des sols est un moyen particulièrement efficace pour retenir les nitrates, diminuer leur teneur dans l'eau stockée par les sols et donc limiter leur transfert vers les eaux de surface et souterraine ;
  - à l'organisation (ou immobilisation) par les micro-organismes du sol ; une activité microbienne intense en présence de quantités de carbone suffisantes dans le sol est aussi un moyen de retenir les nitrates et de diminuer le risque de pollution des eaux.
- Les transformations chimiques microbiennes dans le sol sont impliquées à la fois dans l'effet source et dans l'effet protecteur vis-à-vis de la pollution des eaux par les nitrates :

Éclairage

Exemple des capacités de rétention et de transformations chimiques des sols vis-à-vis des nitrates (fin)

- La minéralisation de la matière organique (transformation en ammonium) suivie de la nitrification (transformation de l'ammonium en nitrates) est une source de nitrates. Elle concerne la matière organique du sol mais aussi tous les produits organiques issus des cultures ou apportés au sol. Elle peut être à l'origine d'une grande quantité de nitrates, donc d'un risque de pollution des eaux, lorsque les conditions physico-chimiques du sol sont favorables à l'activité microbienne ;
- A l'inverse, la dénitrification (transformation des nitrates en azote gazeux) est susceptible de diminuer la quantité de nitrates dans les sols et d'avoir un effet protecteur sur la qualité des eaux. Elle a lieu dans les sols mal drainés et constituant des milieux anaérobies tels que les zones humides. Elle peut toutefois avoir des conséquences sur la production de gaz à effet de serre (N_2O – oxyde nitreux).

LES PROPRIETES DES SOLS SONT A L'ORIGINE DE LEUR EFFET SOURCE OU PROTECTEUR VIS-A-VIS DE LA POLLUTION DES EAUX PAR LES NITRATES (CALVET, 2003 ; MODIFIE)

	Propriétés des sols mises en jeu :	
Effet sur la pollution des eaux superficielles et souterraines :	*- capacité de rétention des sols*	*- capacité de transformations chimiques des sols*
- effet source	aucun	minéralisation et nitrification : oui
- effet protecteur	rétention physico-chimique : aucun rétention microbiologique : oui	dénitrification : oui

Éclairage

Exemple des capacités de rétention et de transformations chimiques des sols vis-à-vis des produits phytosanitaires

Les produits phytosanitaires, encore appelés pesticides (incluant également les biocides) ou produits phytopharmaceutiques, sont utilisés principalement par les activités agricoles pour la protection des plantes, et secondairement par les activités urbaines et de transports pour l'hygiène urbaine et l'entretien des voies de circulation. Ils comprennent les fongicides, herbicides et insecticides. Les produits phytosanitaires recouvrent une très grande variété de composés organiques appartenant à de nombreuses familles chimiques. Actuellement, en France, il y a plus de 500 produits différents incorporés dans plus de 8 000 préparations ou produits commerciaux. A la différence des composés azotés qui peuvent avoir une origine intrinsèque au sol, les produits phytosanitaires ont tous une origine exogène au sol et liée aux activités anthropiques.

Les sols interviennent dans les processus de pollution des eaux par les produits phytosanitaires par leurs capacités de rétention et de transformations chimiques.

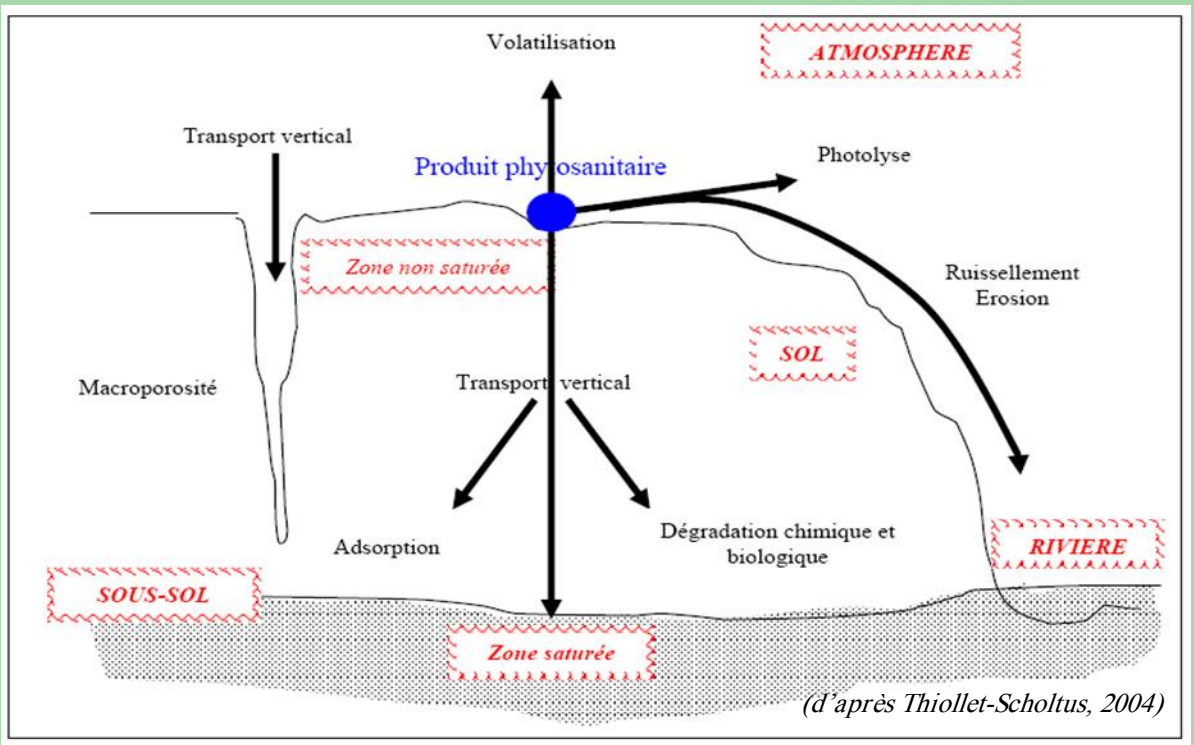
- La rétention des produits phytosanitaires dans les sols implique :
  - des phénomènes physico-chimiques d'adsorption des produits sur les matières organiques, les substances humiques et les minéraux argileux des sols, suivis de phénomènes de stabilisation par réaction chimique ou piégeage physique. Les phénomènes d'adsorption peuvent être réversibles à court terme alors que les phénomènes de stabilisation ne le sont pas ;
  - des phénomènes microbiologiques de rétention par la microflore des sols.

Éclairage

Exemple des capacités de rétention et de transformations chimiques des sols vis-à-vis des produits phytosanitaires (suite)

Ces différents phénomènes de rétention ont un effet protecteur pour les eaux souterraines. Pour les eaux de surface, ils peuvent avoir au contraire un effet source de polluants en présence d'érosion et de libération des produits retenus par désorption ou altération des matières organiques.

- Les produits phytosanitaires épandus dans les sols ou à leur surface subissent également diverses transformations chimiques, de nature biologique ou non-biologique, qui provoquent des modifications de leur structure et de leur composition chimique avec formation de nouvelles molécules appelées métabolites. La dégradation des produits phytosanitaires dans les sols est probablement le principal processus participant à l'effet de protection des eaux superficielles et souterraines. La formation de métabolites non toxiques a un effet protecteur ; la formation de métaboliques toxiques à l'égard d'organismes vivants peut toutefois avoir un effet de source de polluants.



(d'après Thiollet-Scholtus, 2004)

MODES DE TRANSFERT, DE RETENTION ET DE TRANSFORMATIONS CHIMIQUES DES PRODUITS PHYTOSANITAIRES

L'intensité des processus de rétention et de transformations chimiques dépend bien sûr de facteurs liés à la nature chimique des produits phytosanitaires mais aussi de nombreux facteurs pédologiques notamment :

- pour la rétention, de la teneur en matières organiques des sols ;
- pour les transformations chimiques, de l'activité microbienne du sol, elle-même liée à la composition des sols (teneurs en minéraux argileux et en matières organiques) et son degré d'aération.

Elle dépend aussi de l'histoire culturale et du climat.

Éclairage

Exemple des capacités de rétention et de transformations chimiques des sols vis-à-vis des produits phytosanitaires (fin)

Une gestion appropriée des matières organiques des sols (résidus de culture, amendements organiques, etc.), le maintien ou l'introduction d'une activité biologique spécifique dans les sols sont donc des moyens de limiter la mobilité et la quantité de produits phytosanitaires présents dans les sols et donc de diminuer les risques de pollution des eaux. Les autres moyens préconisés sont relatifs à la réduction des doses, la mise en place d'itinéraires techniques réduisant les intrants, limitant ou retardant le déclenchement des phénomènes de ruissellement et d'érosion, l'installation de zones tampons (fossés, haies, zones humides, bandes enherbées).

LES PROPRIETES DES SOLS SONT A L'ORIGINE DE LEUR EFFET SOURCE OU PROTECTEUR VIS-A-VIS DE LA POLLUTION DES EAUX PAR LES PRODUITS PHYTOSANITAIRES (CALVET, 2003 ; MODIFIE)

		Propriétés des sols mises en jeu :	
Effet sur la pollution :		*- capacité de rétention des sols*	*- capacité de transformations chimiques des sols*
des eaux superficielles	*- effet source*	adsorption : variable stabilisation : presque aucun	formation de métabolites : variable
	- effet protecteur	en présence d'érosion : aucun adsorption : variable stabilisation : oui	dégradation : oui
des eaux souterraines	*- effet source*	aucun	formation de métabolites : variable
	- effet protecteur	adsorption, stabilisation : oui	dégradation : oui

Les sols, déterminants des pratiques agricoles, des systèmes de culture et de production

Les décisions techniques prises par l'agriculteur sont plus ou moins influencées par la nature des sols de l'exploitation.

Les sols dans les choix d'assolement

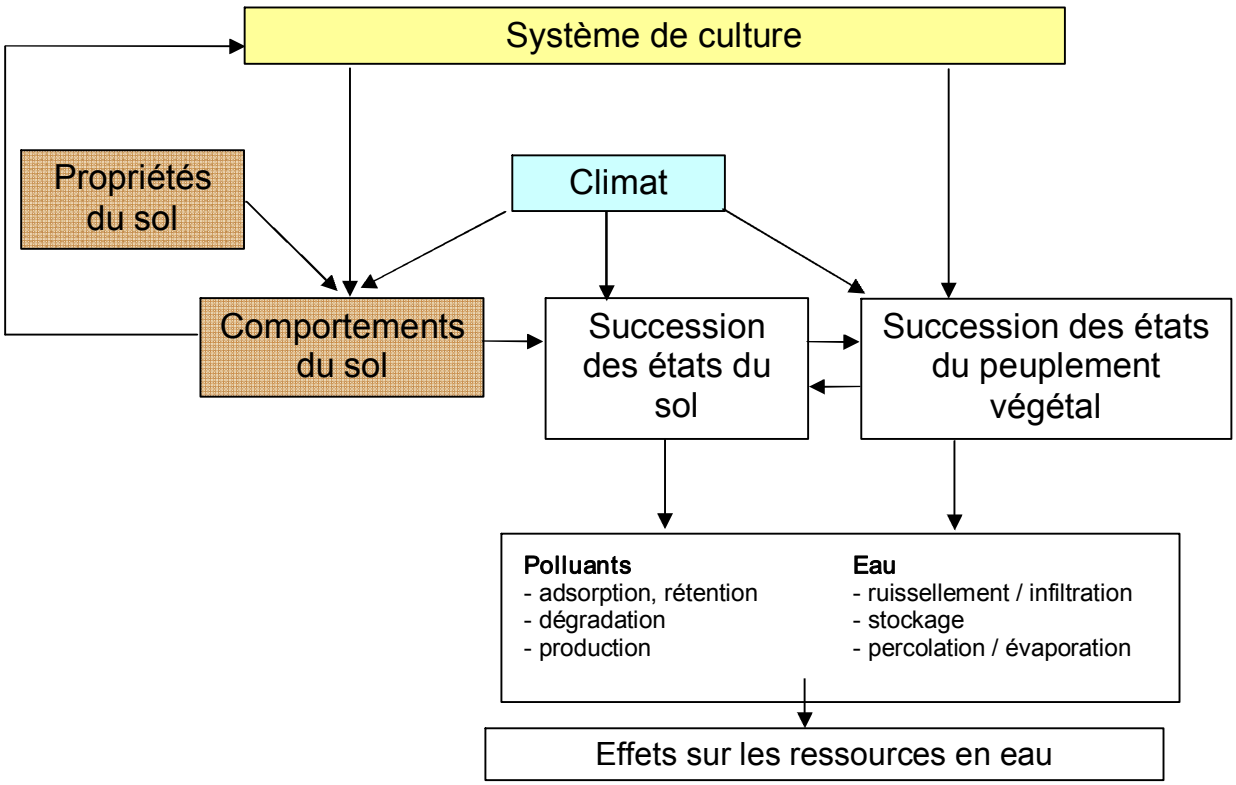
Les choix d'assolement déterminent la localisation et la succession des cultures sur les parcelles, en partie en fonction des aptitudes culturales des sols. Par exemple, certaines cultures sont exclues des terres à forte charge en cailloux afin d'éviter les difficultés de récolte (pois, pomme de terre, lin textile, etc.) ; les cultures de printemps à forte marge brute sont localisées préférentiellement dans les sols profonds à forte réserve en eau (betterave sucrière, pomme de terre, etc.) ; les sols sableux sont particulièrement recherchés pour la culture de l'asperge.

Les sols dans les choix d'intervention sur les parcelles

Les choix d'intervention sur les parcelles (itinéraires techniques) sont plus ou moins différenciés en fonction de la connaissance du comportement des sols par l'agriculteur. Par exemple, on cherche à limiter l'émiettement de la terre en surface afin d'éviter la battance dans les sols limoneux à faible stabilité structurale ; les épandages hivernaux de déjection animales sont souvent concentrés sur les sols les plus portants donc les moins hydromorphes.

Les sols dans les systèmes de culture et de production

La résultante de ces choix se traduit par des systèmes de culture plus ou moins différenciés en fonction de la diversité des sols sur le territoire de l'exploitation. A l'échelle régionale, la diversité des systèmes de production reflète en partie la diversité des atouts et contraintes liés aux sols.



LA PROTECTION DES RESSOURCES EN EAU EST LA RESULTANTE D'UNE SUCCESSION D'ETATS DU SOL ET DU PEUPLEMENT VEGETAL, INFLUENCEE PAR LE SYSTEME DE CULTURE DE L'EXPLOITATION (SCHEURER, 2005 ; MODIFIE).

Que retenir ?

Le rôle du sol dans la préservation des ressources en eau en milieu agricole joue donc à deux niveaux :

- le sol est un déterminant de la pression polluante exercée sur le milieu par l'intermédiaire des systèmes de culture qu'il contribue à générer. La conception et la préconisation de nouvelles pratiques agricoles en vue de limiter les impacts environnementaux devront donc tenir compte de la contrainte « sol » qui pèse sur les marges de manœuvre des agriculteurs ;
- l'influence des systèmes de culture sur les ressources en eau se fait en général de manière indirecte, par l'intermédiaire du sol.

D'un point de vue réglementaire

Les sols dans les textes réglementaires sur l'eau

Ce document n'a pas l'ambition de dresser une liste exhaustive des législations, réglementations et normes concernant la gestion et la protection de l'eau, qui incitent ou prescrivent de s'appuyer sur la connaissance des sols et de leur comportement.

Il s'agit plus simplement d'illustrer, au travers de quelques exemples, dans quelle mesure ces textes de plus en plus nombreux et complexes prennent plus ou moins directement en considération les sols.

Des textes très divers

Avant de citer ces exemples il est bon de rappeler la diversité des textes concernés. On peut ainsi différencier :

- Des textes strictement réglementaires allant de directives européennes (directive Nitrates, directive Cadre sur l'eau, etc.) à leur transcription dans le droit français (lois sur l'eau de 1992 et 2006), transcription qui peut se traduire par des décisions à l'échelle régionale, départementale ou locale. Dans ce contexte réglementaire « descendant » la prise en compte des sols et de leur diversité est plus facile lorsque les réglementations sont à une échelle régionale ou locale.

- Des textes en lien avec des dispositifs contractuels ; les Mesures Agri-Environnementales (MAE) proposées dans le Règlement relatif au Développement Durable (RDR) ainsi que les Bonnes Conditions Agronomiques et Environnementales (BCAE) associées à la conditionnalité de la politique agricole commune font partie de ces dispositifs.

- Des textes associés à des certifications, possibles dans un cadre contractuel ou non : la certification Agriculture Biologique, la qualification Agriculture Raisonnée, la certification ISO 14001.

- Des textes édictant des normes. La normalisation est ainsi définie par l'article 1er du Décret n°84-74 du 26 janvier 1984 fixant le statut de la normalisation : « La normalisation a pour objet de fournir des documents de référence comportant des solutions à des problèmes techniques et commerciaux concernant les produits, biens et services, qui se posent de façon répétée dans des relations entre partenaires économiques, scientifiques, techniques et sociaux. »

- Enfin, et de façon plus générale, des textes ou recommandations qui impliquent la réalisation de diagnostics ou états des lieux et l'élaboration de programmes d'actions. C'est le cas des programmes « bassins versants » souvent initiés dans un cadre partenarial par les collectivités, l'Etat et les agences de l'eau.

Une prise en compte plus ou moins directe des sols

Ces textes peuvent avoir un lien très direct avec la protection de l'eau (exemple de la directive Nitrates), ou avoir des incidences plus indirectes (exemples de la conditionnalité qui s'assortit du respect de la directive Nitrates et de la mise en place de bandes enherbées ou de la certification en agriculture biologique qui interdit l'usage d'engrais et de pesticides chimiques de synthèse).

Ces différents textes et dispositifs permettent une adaptation locale plus ou moins importante. Le nouveau dispositif de MAE défini au niveau national a l'avantage de simplifier et d'harmoniser les contrats mais ne permet pas toujours de tenir compte des spécificités locales et en particulier de la diversité des milieux et des sols.

Dans l'ensemble, les sols et leur diversité sont peu pris en compte dans les différents textes et réglementations. Cependant les quelques exemples qui suivent illustrent des cas où les sols peuvent être pris en compte plus ou moins directement dans la rédaction des documents réglementaires ou contractuels relatifs à la préservation de l'eau.

Quelques exemples de prise en compte des sols

Dans le cadre de réglementations européennes, nationales et locales

- Exemple de la directive Nitrates

  A l'origine des obligations ou recommandations de la directive Nitrates se trouve le code des bonnes pratiques agricoles (1993) qui a servi à décliner des programmes d'action définis dans les départements et les zones vulnérables. Ces programmes relèvent de spécificités locales et nécessitent par exemple :

  - de bien connaître les sols pour établir un bilan prévisionnel de fertilisation,
  - de tenir compte de certaines contraintes qui peuvent être liées au type de sol, telles que la date de retournement des cultures intermédiaires, fonction de la teneur en argile des sols.

  Les arrêtés départementaux peuvent donc tenir compte du « facteur sol », soit au travers de zonages spécifiques à l'intérieur de la zone vulnérable, soit au travers de recommandations ou obligations.

- Exemple de la directive réglementant l'usage des boues en agriculture

  La réglementation de l'utilisation en agriculture des boues résiduaires issues des stations d'épuration poursuit deux objectifs :

  - éviter les effets nocifs sur les sols, la végétation, les animaux et l'homme ;
  - garantir à l'exploitant agricole la qualité des boues épandues et leur adaptation aux besoins des sols et des cultures.

  Le respect de l'ensemble de la réglementation relative à l'épandage des boues des stations d'épuration en agriculture relève de la responsabilité du producteur des boues. La connaissance des sols est importante notamment pour définir leur aptitude à l'épandage des boues. Par exemple, la valeur du pH du sol intervient sur la mobilité des métaux lourds, donc leur absorption par les plantes et leur lixiviation. La réglementation impose ainsi une restriction des usages pour des valeurs de pH du sol inférieures à 6 et une interdiction pour des valeurs inférieures à 5.

Dans le cadre de politiques contractuelles telles que la mise en place de MAE

Les MAE proposées dans des territoires doivent s'appuyer sur le contexte local et la connaissance des sols peut être utile pour définir le contenu des programmes.

- L'engagement concernant l'implantation des cultures intermédiaires en période de risque peut illustrer cette nécessité. La mise en place de la MAE nécessite en effet de définir pour chaque territoire les dates d'implantation et les dates minimales de destruction.

  La prise en compte du sol est importante pour fixer ces dates d'implantation et de destruction.

- Un autre engagement relatif à la formation des agriculteurs sur le raisonnement de la fertilisation implique des contenus portant sur :

  - l'identification des enjeux environnementaux, auxquels le raisonnement de la fertilisation permet de répondre ;
  - les méthodes de calcul des bilans, adaptées le cas échéant aux systèmes de cultures ou d'élevage présents sur le territoire concerné ;
  - l'intérêt agronomique des successions culturales.

  La connaissance des sols est indispensable pour définir un contenu pertinent de ces formations.

Dans la définition de zonages et de programmes d'action qui doivent s'appuyer sur des diagnostics pertinents

De plus en plus souvent les actions de préservation et de gestion de l'eau s'appuient sur le triptyque diagnostic / plan d'action / évaluation.

Que ce soit dans le cadre d'actions locales de préservation de ressource, ou dans un cadre plus général tel que la directive cadre sur l'eau (SDAGE et SAGE), ou pour la prévention de risques (érosion, inondation, etc.), la nécessité d'un diagnostic impose une prise en compte des sols pour définir les risques. Le diagnostic entre ainsi dans un cadre quasiment « réglementaire » et constitue un passage obligé d'un programme de préservation de la ressource. Il est important de bien intégrer la « dimension sol » dans ce diagnostic, au même titre que d'autres données utiles à l'évaluation des risques.

Ces diagnostics peuvent s'appuyer sur les méthodes établies par le CORPEN par exemple, ou par toute autre méthode validée par la communauté scientifique (le Chapitre 3 abordera quelques méthodes spécifiques).

A l'amont de ces programmes d'actions, des zonages préalables sont souvent réalisés (zonage des risques érosion, définition des zones humides, etc.). Là aussi la connaissance des sols est incontournable.

Dans le cadre des textes associés à des certifications

Le référentiel de l'Agriculture Raisonnée[1] n'exige pas de manière explicite de se doter d'un outil de connaissance de sols de l'exploitation (carte ou zonage), mais il demande de mettre en œuvre un programme d'analyses de terre « par grand type de sol et système de culture présent sur l'exploitation».

[1]Arrêtés interministériels des 30/04/2002, 20/04/2006 et 05/02/2007 relatifs au référentiel de l'agriculture raisonnée (respectivement J.O. des 04/05/2002, 28/05/2006 et 14/02/2007)

AFFLEUREMENT DE NAPPE EN AVAL D'UNE PARCELLE CULTIVEE, DANS LE LOIRET (© INRA ORLEANS – N. SCHNEBELEN)

Quelques exemples de textes réglementaires

Quelques exemples de législations et de réglementations prenant en compte les sols sont présentés ci-après, dans l'ordre chronologique.

- Le Code Rural, articles L 255-1 à L 255-11, texte fondamental fixant le cadre réglementaire pour les matières fertilisantes et les supports de culture ;
- La Loi n°75-633 du 15 juillet 1975 modifiée[2] sur les déchets ;
- Le Titre Ier du livre Vème du Code de l'Environnement relatif aux installations classées pour la protection de l'environnement (articles L 511-1 à L 517-2) ;
- La Loi n°92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau ;
- L'Arrêté du 22 novembre 1993 relatif au code des bonnes pratiques agricoles ;
- Le Décret n°96-540 du 12 juin 1996 relatif au déversement et à l'épandage des effluents d'exploitations agricoles ;
- La Loi n°2003-699 du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages, dite « Loi Risques », complétée par le Décret n°2007-882 du 14 mai 2007 ;
- La Loi n°2005-157 du 2 février 2005 relative au développement des territoires ruraux ;
- La Loi Constitutionnelle n°2005-205 du 1er mars 2005 relative à la Charte de l'Environnement (Code de l'Environnement, article L 110-1) ;
- La Loi n°2006-11 du 5 janvier 2006 d'orientation agricole ;
- La Loi n°2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques ;
- Le Décret n°2007-135 du 30 janvier 2007 précisant les critères de définition et de délimitation des zones humides ;
- Le Décret n°2007-882 du 14 mai 2007 relatif à certaines zones soumises à des contraintes environnementales (érosion, zones humides, aires d'alimentation des captages).

[2] Modifiée par la loi n° 92-646 du 13 juillet 1992 relative à l'élimination des déchets ainsi qu'aux installations classées pour la protection de l'environnement

Éclairage

Stratégie thématique européenne pour la protection des sols

Au-delà des règlementations portant sur la protection de l'eau, la stratégie thématique européenne pour la protection des sols pourrait avoir, à terme, des incidences sur la protection globale des ressources. Il est donc important d'en rappeler les orientations.

Le projet de directive cadre adopté en septembre 2006 par la Commission Européenne propose une approche globale de la protection des sols, destinée à préserver la capacité des sols à remplir leurs fonctions d'ordres écologique, économique, social et culturel. Il identifie les principales menaces pesant sur les sols et demande aux Etats membres d'identifier les parties de leur territoire concernées par ces menaces, qui sont : l'érosion, la diminution de la matière organique des sols, le tassement, la salinisation, les glissements de terrain, la contamination des sols et l'imperméabilisation.

La stratégie européenne demande également aux Etats membres d'intégrer la protection des sols dans l'élaboration des politiques sectorielles susceptibles d'aggraver ou d'atténuer les processus de dégradation des sols, « en particulier dans les domaines de l'urbanisme et l'aménagement du territoire, des transports, de l'énergie, de l'agriculture, du développement rural, de la foresterie, etc.».

1.2. La connaissance des sols s'inscrit dans une logique d'actions à mener : Quels besoins pour quelles actions ? Quels outils ?

Quels besoins pour quelles actions ?

Les actions à mener

Les actions de préservation de la ressource en eau se décomposent en quatre phases principales :

Diagnostic initial des risques

Le diagnostic consiste dans un premier temps à identifier la diversité des situations vis-à-vis de l'impact environnemental étudié ; il faut le plus souvent inventorier et caractériser les combinaisons « sensibilité du milieu x pression due au système de culture », puis les hiérarchiser selon leur niveau de risque et évaluer leur extension spatiale.

Cette étape est nécessaire pour définir des zones d'action prioritaires et/ou pour choisir des sites d'investigation plus poussée à une échelle plus détaillée en représentant cette diversité. Elle peut se faire à différents niveaux : à l'échelle régionale pour choisir une zone d'action (bassin versant pilote), à l'échelle du bassin versant ou de l'exploitation agricole pour choisir des parcelles de référence faisant l'objet d'un suivi des pratiques et/ou des impacts environnementaux.

Le diagnostic doit par ailleurs identifier les pratiques agricoles en cause dans les situations à risque (ainsi que les objectifs et contraintes des agriculteurs qui déterminent ces pratiques) afin d'orienter les actions préventives. L'effet des pratiques doit pour cela être relativisé en fonction du milieu.

Conception de solutions techniques

Il s'agit de concevoir et tester des modifications de pratiques ou des règles de décision (adaptées aux différents milieux) qui limitent les risques, tout en étant acceptables par les agriculteurs.

Diffusion de solutions techniques

La mise en application de ces solutions passe par leur promotion dans les exploitations agricoles. Celle-ci se traduit, d'une part, par une explication des mécanismes en jeu et leurs impacts environnementaux et, d'autre part, par la diffusion de préconisations techniques et d'outils simples d'aide à la décision. Elle peut aussi donner lieu à la contractualisation de mesures agri-environnementales.

Évaluation

Le suivi et l'évaluation des résultats s'apparentent également à une phase de diagnostic : localisation et quantification des changements de pratiques dans les principales combinaisons « milieu x système de culture », évaluation des progrès induits en termes d'impacts sur l'état de la ressource.

Les outils de connaissance des sols nécessaires

Deux outils de connaissance des sols sont en général nécessaires pour mener à bien ces actions :

Typologie locale des sols

La connaissance des sols n'est pas spatialisée de manière précise ; elle est organisée sous forme d'un référentiel des principaux types de sol du territoire, décrivant au minimum leurs caractéristiques morphologiques et analytiques (texture, propriétés chimiques, etc.), ainsi que leurs lois de répartition dans le paysage.

Zonage ou carte des sols

La connaissance des sols est spatialisée. Les documents à grande échelle (de 1/5 000 à 1/25 000) sont compatibles avec une approche parcellaire. A partir de 1/50 000 (échelle moyenne), des observations de terrain complémentaires sont nécessaires pour mener une approche parcellaire.

Les objets représentés sont des unités typologiques de sol (grande et moyenne échelle) ou des unités cartographiques de sol comprenant un ou plusieurs types de sol (petite échelle). Le terme « zonage » correspond ici à un document cartographique réalisé selon des normes moins exigeantes -et avec des moyens plus limités- qu'une carte des sols « classique » établie par un pédologue ; il n'en constitue pas moins un outil opérationnel. Dans les deux cas, le document est associé à une typologie des sols qui sert de base à la légende.

Quels outils ?

Utilisation pour le diagnostic

Typologie locale des sols

Lorsque le risque étudié ne dépend pas des relations entre parcelles (cas de la pollution diffuse par les nitrates), le diagnostic est possible à partir d'une typologie des sols du territoire concerné ; chaque type de sol doit pour cela être caractérisé par les variables explicatives de la sensibilité du milieu, ses aptitudes culturales et par une estimation de sa surface dans le bassin versant.

En l'absence de carte détaillée au niveau parcellaire, les sols d'une exploitation agricole peuvent être caractérisés par rattachement à une typologie locale, à condition que celle-ci soit associée à une clé d'identification sur le terrain. C'est une étape préalable au diagnostic des risques.

Zonage – carte des sols

Le zonage ou la carte des sols sont nécessaires pour établir un zonage des risques sur le territoire étudié. Les unités de sol représentées doivent pour cela être caractérisées par les variables-sol indicatrices de la sensibilité du milieu. Ceci peut donc nécessiter l'établissement de références pédologiques complémentaires. Ces variables doivent souvent être ensuite combinées avec des variables exogènes (climat, occupation du sol par exemple), ce qui renforce l'intérêt de la spatialisation.

Pour caractériser les systèmes de culture et les localiser en fonction des milieux, on a en général besoin d'enquêter sur les pratiques des agriculteurs. Le zonage ou la carte permettent de choisir les exploitations à

enquêter de manière pertinente pour représenter les principaux milieux.

De même, le zonage ou la carte peuvent servir à choisir des sites d'étude pour produire des références sur la sensibilité du milieu ou l'effet de l'interaction « milieu x pratiques » sur le risque.

Conception et diffusion de solutions techniques

Typologie locale des sols

La typologie est indispensable pour structurer l'élaboration puis l'utilisation des références techniques :

- elle permet de sélectionner les types de sols où expérimenter de nouvelles pratiques (*in situ* ou par simulation), selon leur fréquence et leur sensibilité.

- à l'échelle de l'exploitation, le conseil ou l'aide à la décision pour la mise en application de nouvelles pratiques doivent être adaptés aux propriétés des sols. Cela implique le rattachement des parcelles au référentiel de la typologie. Comme précédemment, la typologie doit être associée à une clé d'identification.

La typologie est un outil de communication « de proximité » ; il peut être largement diffusé pour harmoniser le langage entre les techniciens et les agriculteurs.

Zonage – carte des sols

Le zonage ou la carte sont nécessaires pour tester des solutions techniques lorsque le risque étudié dépend des caractéristiques du sol et des pratiques sur un ensemble de parcelles contiguës et des relations entre ces parcelles. C'est typiquement le cas de l'érosion pour laquelle les améliorations techniques et les aménagements du territoire se raisonnent en partie à l'échelle d'un bassin versant élémentaire.

A l'échelle régionale, le zonage ou la carte des sols permettent de définir le domaine d'extrapolation des résultats obtenus sur une zone test.

Au-delà de son intérêt technique, la carte a un intérêt pédagogique indéniable comme outil de communication pour expliquer et présenter les résultats du diagnostic et diffuser les préconisations.

Actions à mener	*Question générale*	*Questions relatives au sol*	*Nature des informations sol nécessaires*	*Unité spatiale d'analyse*	*Outils sols nécessaires*
Diagnostic régional *Choix d'une zone d'action*	Où sont les zones à risque ? = zonage de la diversité régionale des situations (bassins versants ou petites régions naturelles) par rapport au problème environnemental étudié Hiérarchisation des risques	Où sont les zones sensibles ? = zonage de la sensibilité du milieu	Connaissance spatialisée des variables-sol indicatrices de la sensibilité du milieu Ex : réservoir utilisable maximal (RUM), indice de battance	Unité Cartographique de Sol (UCS) ou Bassin versant (BV)	Zonage régional (type Référentiel Régional Pédologique - RRP) à 1/250 000
Diagnostic sur un bassin versant (*) SdC = Système de Culture	1. Identifier la diversité des combinaisons « milieu x SdC* » par rapport au problème environnemental = zonage et hiérarchisation des risques 2. Identifier les pratiques agricoles en cause dans les situations à risque 3. Identifier les déterminants de ces pratiques et les marges de manœuvre dans les exploitations	**A**. Quels sont les milieux sensibles ? Quels SdC* y pratique-t-on ? Quelle surface les combinaisons « à risque » représentent-elles dans le BV ? **B**. Pour enquêter sur les SdC* et les pratiques, où choisir les exploitations pour représenter tous les milieux ? Comment relier pratiques et milieu ?	**A**. Typologie des sols, renseignée par type sur : - les variables explicatives de la sensibilité du milieu, - les aptitudes culturales, - les % probables dans le BV. **B**. Lois de répartition des principaux types de sol dans le BV et clé d'identification des types	Unité Typologique de Sol (UTS) Connaissance des pratiques parcellaires selon les milieux UCS Choix des exploitations à enquêter	Typologie locale si le problème étudié ne dépend pas des relations entre parcelles (ex : nitrates) Carte grande échelle et typologie si le problème étudié dépend des relations entre parcelles (ex : érosion) Zonage régional (type RRP) à 1/250 000
Elaboration de références et de solutions techniques pour l'action et le conseil	Quelles sont les situations à améliorer en priorité ? (affiner la hiérarchie des risques) Quelles modifications des pratiques, quelles règles de décision promouvoir pour limiter les risques notamment dans les zones sensibles ?	Choix de parcelles ou choix de Bassins Versants Elémentaires (BVE) représentatifs des différents milieux pour évaluer les risques ou pour tester des solutions techniques - par simulateur (modélisation), - par mesures *in situ*	Typologie des sols, renseignée par type sur : - les variables explicatives de la sensibilité du milieu, - les aptitudes culturales, - les % probables dans le BV. Lois de répartition des principaux types de sol dans le BV et clé d'identification des types	UTS (niveau parcellaire)	Typologie locale si le problème étudié ne dépend pas des relations entre parcelles et en cas de recours à la simulation ou Carte grande échelle et typologie si le problème étudié dépend des relations entre parcelles et/ou s'il est prévu des mesures *in situ*
et de cahiers des charges en vue de contrats	Quelles incidences de ces nouvelles pratiques sur : - la qualité de l'eau ? - le rendement, le revenu ? Quel rapport coût / bénéfice ? Quels risques font courir ces pratiques sur le revenu ?	En quoi les différents sols peuvent-ils jouer sur : - le choix, - la mise en œuvre de ces pratiques, - leurs incidences économiques techniques, environnementales ?			
Diffusion de ces références et solutions techniques	Chez un agriculteur, comment rattacher une situation (parcelle, BVE), à un référentiel pour : - évaluer un niveau de risque, - et/ou préconiser une solution technique	A quel type de sol se rattache cette parcelle ?	Typologie des sols, renseignée par type sur : - variables explicatives de la sensibilité du milieu, - référentiel technique et clé d'identification des types	UTS (niveau parcellaire)	Typologie locale et clé d'identification

Que retenir ?

Cette analyse des relations entre les actions à mener et les outils montre que les besoins en données sur les sols dépendent de la question posée et de la thématique environnementale.

La spatialisation des données n'est pas toujours nécessaire : une typologie locale peut parfois être suffisante. Le niveau de résolution requis pour les cartes ou zonages est plus ou moins élevé selon le niveau où se fait le diagnostic. Néanmoins, il doit le plus souvent être compatible avec une approche parcellaire.

Les besoins en données relatives aux sols se situent finalement à deux niveaux :

- des outils de base : typologie et zonage ou carte des sols,
- des références par type de sol sur
  - les variables explicatives de la sensibilité du milieu à l'impact environnemental étudié,
  - ses aptitudes culturales et les effets des pratiques actuelles ou à préconiser sur les risques environnementaux, agronomiques, économiques.

Les chapitres suivants seront structurés en fonction de ces deux niveaux.

Pour en savoir plus…

- **Calvet R. (2003)** – *Le Sol : Propriétés et fonctions. Tome 2 : Phénomènes physiques et chimiques, Applications agronomiques et environnementales.* Éditions France Agricole, 511 p.
- **CORPEN** : Comité d'ORientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement http://www.ecologie.gouv.fr/-CORPEN-.html
- **Duchaufour P. (1997)** – *Abrégé de pédologie : Sol, végétation, environnement.* Éditions Masson, Paris, 291 p.
- **Girard M.C., Walter C., Rémy J.C., Berthelin J. et Morel J.L. Coord. (2005)** - *Sols et Environnement*. Éditions Dunod, Paris, 816 p.
- **Papy F. (2001)** – Interdépendance des systèmes de cultures dans l'exploitation agricole. In : Malézieux E., Trébuil G., Jaeger M. (Eds). *Modélisation des agro-écosystèmes et aide à la décision*. Éditions CIRAD-INRA, collection Repères, p. 51-74.
- **Scheurer O. (2005)** – La prise en compte de la diversité des sols dans le cadre de la gestion environnementale de l'exploitation agricole. *In* : Girard M.C., Walter Ch., Rémy J.C., Berthelin J. et Morel J.L. (Coord). *Sols et Environnement.* Éditions Dunod, Paris, p. 715-735.
- **Thiollet-Scholtus M. (2004)** – *Construction d'un indicateur de qualité des eaux de surface vis-à-vis des produits phytosanitaires à l'échelle du bassin versant viticole*. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, 206 p.

Chapitre 2

La connaissance des sols sur un territoire, comment l'acquérir ?

Chapitre 2. La connaissance des sols sur un territoire, comment l'acquérir ?

Le but de ce chapitre est de définir comment acquérir une meilleure connaissance des sols sur un territoire de quelques dizaines à quelques centaines de km^2 pour lequel un enjeu sur la qualité de la ressource en eau a été identifié.

Le degré de précision de connaissance des sols sera fonction de l'étendue de la zone d'étude mais également de la problématique associée. Dans certains cas, la relation entre parcelles au sein du bassin versant est déterminante pour le risque, une spatialisation de l'information pédologique de type carte, ou zonage est nécessaire ; dans d'autres cas, au contraire, cette composante spatiale ne l'est pas et une typologie (connaissance ponctuelle) est suffisante. Le niveau de connaissance dépendra aussi des moyens disponibles, en particulier financiers.

2.1. Typologie des sols

Définition et objectifs d'une typologie des sols

Une typologie de sols est un inventaire ou répertoire des types de sols présents sur une portion d'espace donnée : bassin versant ou bassin d'alimentation en eau. Les types de sol sont définis en relation avec les autres composantes de l'environnement, c'est-à-dire le relief, la lithologie, l'occupation du sol. Les informations ne sont pas spatialisées.

La typologie des sols comme outil de connaissance des sols et d'acquisition de références

Une typologie des sols doit permettre de :

- faciliter l'analyse d'une réalité complexe. La démarche consiste donc à dresser un catalogue des types de sols (Unités Typologiques de Sols - UTS), et de procéder à des regroupements en fonction d'une problématique, dans notre cas la protection de la ressource en eau ;
- guider l'échantillonnage et la collecte de références sur les sols ou sur leur interaction avec les principales pratiques agricoles du territoire. Ainsi, la localisation des sites d'observation et de prélèvement visera à représenter les principaux types de sols de la typologie ;
- faciliter l'extrapolation des références acquises localement en les rattachant aux types de sols identifiés. Pour chaque type de sol, les références portent sur les mécanismes de transfert des éléments dans le sol et sur des recommandations concrètes de pratiques agricoles et d'aménagements préservant la ressource en eau.

La typologie des sols au service des acteurs

Une typologie doit être partagée par l'ensemble des acteurs (agriculteurs, scientifiques, conseillers, etc.) et constituer un outil de dialogue entre spécialistes pédologues et non-spécialistes. Deux niveaux de lecture sont donc nécessaires :

- une typologie « de base » comportant la totalité des types de sols identifiés et les informations associées ;
- une typologie simplifiée avec un vocabulaire accessible et un nombre de types limité ; les types « simplifiés » regroupent un ou plusieurs types de sols de « base » au comportement similaire au regard de la problématique.

Une typologie s'accompagne nécessairement d'une clé de détermination permettant à chacun de rattacher un sol observé à un type de sol référencé.

Réalisation d'une typologie

Typologie régionale ou typologie locale ?

Deux catégories de typologies sont couramment distinguées :

- des typologies régionales, en général issues d'inventaires cartographiques à moyenne ou petite échelle (1/25 000 à 1/250 000). Elles sont souvent obtenues dans le cadre du programme national « Inventaire, Gestion et Conservation des sols » (IGCS) à partir des Référentiels Régionaux Pédologiques (RRP);
- des typologies locales s'appuyant sur des études à grande et moyenne échelle (1/10 000 à 1/25 000), fréquemment réalisées à partir de la méthode des Secteurs de Référence (SR).

La pertinence de ces deux typologies dépend de la superficie du territoire d'étude.

LA PERTINENCE DE L'UTILISATION D'UNE TYPOLOGIE REGIONALE OU LOCALE DEPEND DE LA SUPERFICIE DU TERRITOIRE.

Typologies disponibles	*Bassin versant / bassin d'alimentation en eau*	
	Petit (quelques km²)	*Grand (quelques centaines de km²)*
Typologie locale (SR)	adaptée	en général insuffisante, sauf si territoire homogène (SR représentatif)
Typologie régionale (RRP)	en général insuffisante	adaptée

Utilisation d'une typologie régionale existante

Il existe de nombreuses typologies régionales à différentes échelles. Réalisés dans le cadre du programme IGCS, les RRP à 1/250 000 représentent actuellement la couverture pédologique de la France la plus complète, mais la totalité du territoire n'est pas encore couverte. Ce paragraphe illustre la valorisation et l'utilisation d'un RRP dans le cadre d'une problématique sur l'eau.

Utilisation d'un Référentiel Régional Pédologique

Un Référentiel Régional Pédologique se décompose en pédopaysages ou Unités Cartographiques de Sols (UCS) qui sont représentées cartographiquement. Ces UCS contiennent différents types de sols appelés « Unités Typologiques de Sols » (UTS).

L'ensemble des UTS constitue la typologie de « base ». Les clés de détermination devront être établies à partir de ces Unités Typologiques de Sols.

Les UTS ne sont pas spatialisées dans le RRP. Néanmoins des éléments descriptifs comme la nature du milieu, la géologie, la géomorphologie permettent de définir des grandes lois de distribution de ces sols au sein des pédopaysages. Les UTS sont également définies par leur pourcentage d'extension au sein des UCS.

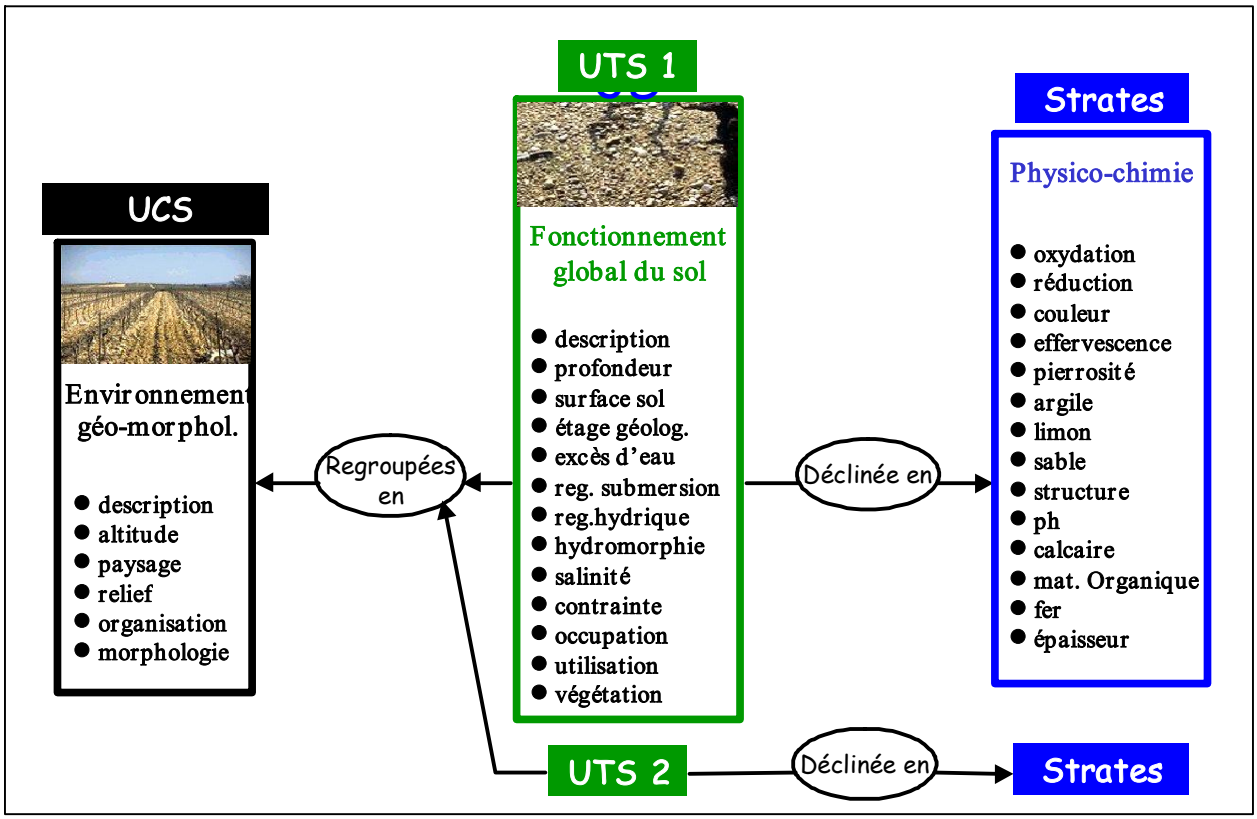
Les caractéristiques de chaque UTS sont accessibles dans une base de données : propriétés physico-chimiques, critères facilement identifiables sur le terrain (pierrosité, réaction HCl, couleur).

Les UTS sont définies par la succession d'une ou plusieurs strates, et par leur organisation. Une strate représente la variation dans l'espace d'un horizon, ou d'une couche issue du regroupement de plusieurs horizons. La variabilité des propriétés physico-chimiques est exprimée dans chaque strate par des valeurs minimale, maximale et modale pour les données quantitatives et par des valeurs de mode principal, secondaire et mineur pour les données qualitatives.

Dans le cadre d'une problématique sur la qualité des eaux, les variables caractérisant le comportement des sols peuvent être estimées par l'emploi de fonctions ou de règles de pédotransfert à partir des données disponibles dans la base.

Utilisation d'une autre typologie régionale

Lorsqu'il n'existe pas de Référentiel Régional Pédologique issu du programme IGCS, les unités typologiques de sols (types de sols) peuvent être définies à partir de cartes existantes à différentes échelles (souvent plus anciennes).



UN REFERENTIEL REGIONAL PEDOLOGIQUE (RRP) EST STRUCTURE EN UNITES CARTOGRAPHIQUES DE SOL (UCS) QUI CONTIENNENT UNE OU PLUSIEURS UNITES TYPOLOGIQUES DE SOL (UTS). LES UTS SONT ELLES-MEMES DECLINEES EN STRATES DONT LA VARIABILITE DES CARACTERISTIQUES PEDOLOGIQUES EST CONNUE.

Éclairage

Sources d'informations pédologiques disponibles ou à mobiliser

Les sources de données pédologiques sur un territoire donné peuvent être très hétérogènes, de par leur diversité et leur échelle. On distingue, d'une part, les cartes pédologiques et études thématiques et, d'autre part, les bases de données pédologiques couplées à une représentation spatiale. La gamme d'échelles de ces informations pédologiques peut être très variable sur un territoire, allant de 1/5 000 à 1/1 000 000. Actuellement, la France ne possède pas encore une couverture complète et homogène des sols sur l'ensemble de son territoire, à l'exclusion de la Base de Données Géographique des Sols de France qui est compatible avec une restitution cartographique à l'échelle du 1/1 000 00.

- Cartes pédologiques et études thématiques

  - *A grandes échelles* (1/5 000 – 1/25 000) : il est difficile de se procurer ce type d'études car elles sont généralement réalisées par des bureaux d'étude, spécifiques d'une problématique donnée et ne se veulent donc pas exhaustives. En France, on estime que seuls 10 % du territoire sont représentés par une échelle plus détaillée que le 1/10 000.

    Au sein du programme Inventaire, Gestion et Conservation des Sols (IGCS), on trouve, à l'échelle locale, des études pédologiques plus détaillées nommées « secteur de référence ». Elles sont réalisées pour traiter avec une précision supérieure des questions agricoles ou environnementales. L'échelle de ces secteurs varie de 1/5 000 à 1/25 000. Par ailleurs, une centaine de petites régions naturelles ont fait l'objet dans le passé de secteurs de référence pour le drainage.

  - *A moyenne et petite échelles* (1/50 000 - 1/250 000) : ces études sont généralement réalisées par les établissements d'enseignement supérieur, l'INRA et les Chambres d'Agriculture. Elles ne couvrent qu'une faible partie du territoire français. On estime à 15 % la surface du territoire national cartographiée à 1/100 000.

  Une des missions du Gis Sol est de répertorier les études existantes (REFERSOLS, disponible prochainement), de les stocker, de les numériser et de les harmoniser au sein de la Base de données nationale DONESOL.

- Bases de données pédologiques

  Les programmes nationaux d'inventaire visent à constituer des bases de données géographiques sur les sols. Ils comprennent la Base de Données Géographique des Sols de France, compatible avec une représentation à 1/1 000 000, et le programme IGCS. Ce dernier comporte plusieurs échelles emboîtées :

  - *Les Référentiels Régionaux Pédologiques (RRP).* Ce sont des bases de données géographiques régionales, mises en œuvre et gérées par les partenaires régionaux ou l'INRA. Elles sont structurées pour permettre une manipulation aisée des informations par des logiciels d'analyses cartographiques et leur intégration dans des domaines variés. La précision de ces référentiels correspond au minimum à celle d'une représentation cartographique à 1/250 000.

  - *La Connaissance Pédologique de France (CPF).* Ce programme, lancé dans les années 1970, a fait l'objet de publication d'une trentaine de coupures à l'échelle de 1/100 000 accompagnées de notices explicatives détaillées. Depuis 2000, l'Unité Infosol a entrepris l'informatisation sous format Donesol de ces données acquises antérieurement.

  - *Les Secteurs de Référence (SR).* Les cartes papiers ainsi que les bases de données peuvent être complétées par des données ponctuelles (type profils, sondages, minutes de terrain) déjà réalisées. Ce type d'informations peut se trouver dans les écoles supérieures d'Agronomie, les organismes de recherche (type INRA), les chambres d'agriculture, les instituts forestiers, les bureaux d'études, etc. Dans certaines régions, ces données sont incluses dans les Référentiels Régionaux Pédologiques.

Ces sources d'information sur les sols peuvent être complétées par les dires d'experts pédologues locaux et par les dires d'agriculteurs assistés par le chargé d'étude. Les données issues des programmes de suivi temporel des sols français, tels que ceux de la Base de Données Analyse des Terres ou du Réseau National de Mesures de la Qualité des Sols peuvent également être utilisées.

Réalisation d'une typologie locale (ou régionale)

La réalisation d'une typologie locale est décrite en détail dans le Cahier des Clauses Techniques Générales (CCTG) pour la réalisation d'une étude pédologique en vue d'établir un référentiel sol local. Elle doit être faite par un expert compétent en cartographie pédologique. Nous rappelons ci-après les grandes lignes de la méthodologie préconisée.

Recueil des informations nécessaires

Tous les documents disponibles permettant de caractériser le territoire d'étude seront analysés : cartes pédologiques à petite échelle, MNT (Modèle Numérique de Terrain), cartes topographiques (IGN), cartes géologiques (BRGM), images satellitales, monographies régionales, etc.

Définition des unités typologiques

Deux cas peuvent se présenter :

- Une carte pédologique suffisamment détaillée et documentée existe déjà ; les unités de cette carte pourront servir de base de définition des unités typologiques. Quelques transects de contrôle seront effectués sur le périmètre pour actualiser les données et collecter les informations manquantes pour élaborer les clés de détermination.

- Il n'existe pas de cartographie ou d'étude pédologique ; après reconnaissance préalable de l'ensemble de la zone, l'étude sera conduite selon la méthode des Secteurs de Référence détaillée dans le CCTG pour la réalisation de l'étude pédologique d'un secteur de référence (IGCS, 1992) ou plus simplement par la réalisation de transects ou d'un maillage systématique du territoire.

Caractérisation des unités typologiques

La description, les analyses physico-chimiques d'échantillons de profils représentatifs seront faites à partir de fosses pédologiques suffisamment profondes pour atteindre le matériau parental. Ceci est indispensable pour raisonner la distribution des sols dans le paysage. Dans le cas de milieux variables, plusieurs fosses par unité typologique sont recommandées.

Comment obtenir des typologies opérationnelles ?

Simplification de la typologie

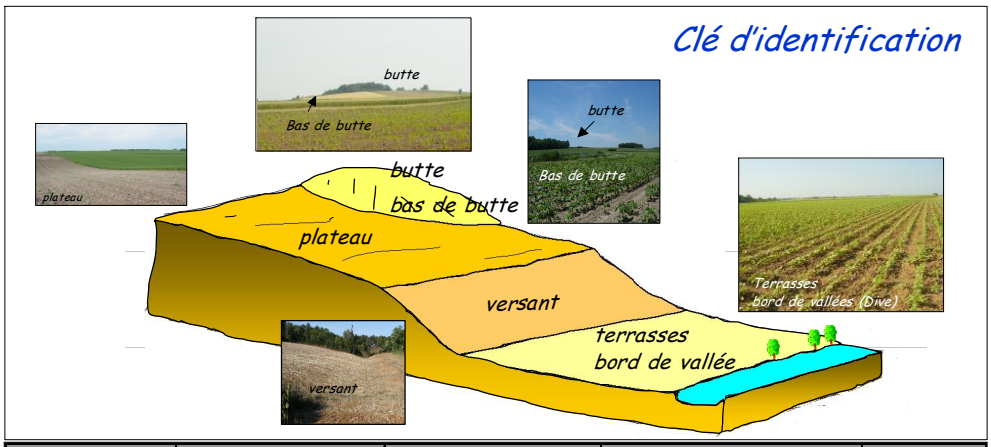
Lorsque le problème traité le permet, il faut établir une typologie de sols plus simple à manipuler par un prescripteur local non pédologue. Cette typologie pourra être simplifiée par des regroupements de types de sol (UTS) ayant des comportements et des recommandations techniques identiques. Par ailleurs la désignation des regroupements ainsi créés se fera en empruntant un vocabulaire familier aux intervenants locaux tout en restant suffisamment précis pour éviter les ambiguïtés entre ces unités. Le nombre de « types » ainsi créés ne dépasse, en règle générale, pas 20.

Clé de détermination

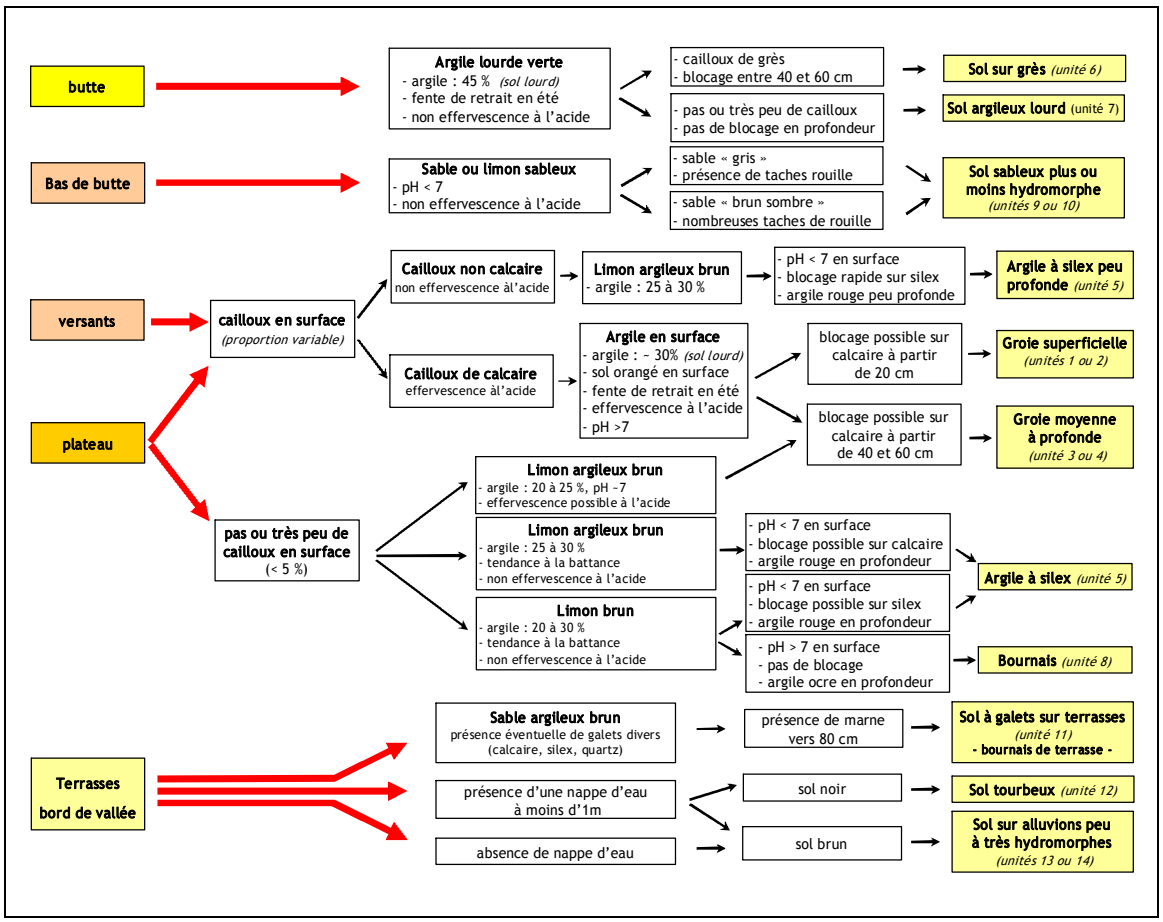
La typologie locale est accompagnée d'une clé de détermination établie par le chargé d'étude pédologique. Cette clé devra être présentée sous une forme permettant une compréhension aisée. Le concepteur sélectionnera de préférence les critères

soulevant le moins d'ambiguïté et les plus faciles à observer, en particulier pour les agriculteurs.

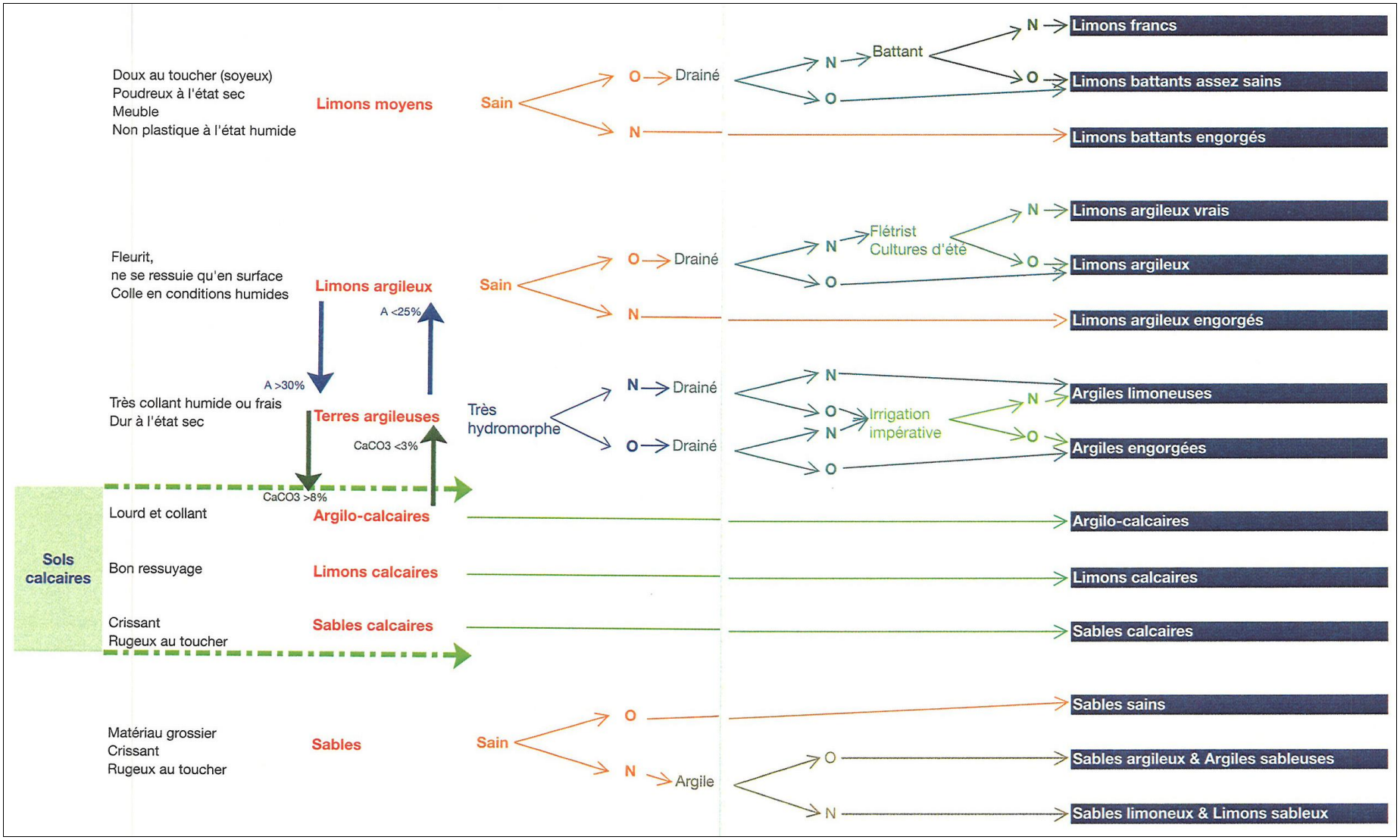
Les critères et la clé de détermination doivent donc être établis et validés sur le terrain avec la participation des acteurs locaux (agriculteurs, prescripteurs, etc.).



Unités paysagères	Description	Sols identifiés	Exemples	Type de sol
butte	relief à sommet plat	sol sur grès, sol argileux, groie	butte de Noizé, bois de Oiron, butte de St Jouin de Marnes	1 ; 2 ; 6 ; 7
bas de butte	zone d'accumulation de sol	sol sableux	pointe d'Orbé, ancien abattoir, la carte	9 ; 10
plateau	surface plane à légèrement ondulée	groie, argile à silex, bournais	plaine de Oiron, d'Irais	3 ; 4 ; 5 ; 8
versant	surface inclinée dominant une vallée	groie, argile à silex	Noizé, Vignole, les Grands Champs, Vallée Rouget, Les Monts	1 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 9 ; 10
terrasses, bords de vallée	bordure de vallée et de cours d'eau (Dive, Thouet)	Sol à galets sur terrasses, sol d'alluvions, sol tourbeux	Zones forage de Ligaine, Pas de Jeu, les Lutineaux	11 ; 12 ; 13 ; 14



EXEMPLE DE CLE DE DETERMINATION DES TYPES DE SOLS AU NORD DES DEUX-SEVRES (MINETTE ET CAM, 2007)



EXEMPLE DE CLE DE DETERMINATION DES TYPES DE SOLS EN SEINE-ET-MARNE (CHAMBRE D'AGRICULTURE DE SEINE-ET-MARNE, 2005).

2.2. Zonage et cartographie des sols

Si l'on veut pouvoir modéliser des processus, établir des bilans, à l'échelle du bassin versant, il est indispensable de connaître la répartition et l'extension des différents types de sols dans l'espace ; on passe alors d'une information ponctuelle (typologie de sols) à une information surfacique (carte des unités de sols).

Selon la problématique, la taille du territoire étudié et les moyens disponibles, différentes approches sont possibles : zonage, esquisse ou carte.

Zonage aux dires d'agriculteurs et d'experts sur la base d'une typologie locale

Une rencontre avec des agriculteurs de la zone concernée peut, dans certains cas, permettre le zonage de types de sols définis à partir d'une typologie locale. Pour ce faire une personne maîtrisant la typologie (techniciens de chambres, agronomes, pédologues, etc.) devra accompagner les agriculteurs dans la collecte de l'information.

Cet accompagnement devra permettre aux agriculteurs d'identifier leurs différents types de sols et de les localiser sur des supports cartographiques.

Étapes de réalisation d'un zonage

Les différentes étapes de réalisation d'un zonage sont les suivantes :

- présentation de la typologie, accompagnée, si possible, de visites de fosses pédologiques ;
- réunions locales et localisation des types de sols sur la carte ;
- des sondages de vérification à la tarière pourront également être réalisés sur des secteurs difficiles à caractériser.

Au-delà de la connaissance qu'il apporte, ce zonage constitue un outil d'animation et de discussion très efficace.

Les agriculteurs sont plus à même d'apporter l'information pour un zonage parcellaire alors que des conseillers peuvent contribuer à la réalisation de zonages sur des territoires plus vastes.

L'esquisse pédologique

Elle peut parfois suffire si on a élaboré une typologie des sols. Elle consiste alors à spatialiser les unités de sol sur la base des informations disponibles sur le territoire considéré (RRP, carte géologique, fond topographique, photographie aérienne, image satellitale, MNT). Un Système d'Information Géographique peut être utile pour cette opération. La réalisation de l'esquisse ne nécessite pas de sondages systématiques. Cependant, dans les milieux les plus complexes, quelques transects de contrôle (sondages à la tarière) devront être réalisés pour vérifier la pertinence de l'esquisse produite.

Bien que moins précise que la carte, l'esquisse présente l'avantage d'être peu coûteuse.

La carte des sols

Principes généraux

La carte des sols doit permettre de tracer les contours des unités de sols. Sa réalisation doit être confiée à un pédologue.

Selon le contexte géomorphologique, la complexité régionale, l'état des connaissances antérieures et les moyens disponibles, différentes alternatives sont possibles :

- la zone d'étude est de superficie limitée, et/ou complexe, et/ou non connue ; une cartographie exhaustive de l'ensemble de la zone sera effectuée selon la norme en cours (NF X 31-560) ou, plus spécifiquement pour les Référentiels Régionaux Pédologiques, selon le Cahier des Clauses Techniques Générales (CCTG) du Référentiel Régional Pédologique ;
- la zone d'étude est vaste mais assez simple (géologie, géomorphologie, etc.) ou déjà reconnue au préalable ; un ou plusieurs secteurs de référence, choisis pour leur représentativité, seront cartographiés de façon très détaillée puis les données acquises extrapolées à l'ensemble du secteur de l'étude.

Étapes de réalisation

Quelle que soit l'échelle de cartographie, la réalisation d'une carte de sols comporte les étapes suivantes :

- compilation des données préexistantes permettant l'esquisse d'une « pré-carte ». Différentes approches peuvent être utilisées pour établir un plan d'échantillonnage ;
- phase de terrain avec sondages à la tarière et fosses ;
- synthèse et carte définitive. Les travaux de synthèse doivent aboutir à la délimitation sur le fond topographique d'Unités Cartographiques de Sols (UCS) constituées d'une ou plusieurs Unités typologiques de Sols (UTS), elles-mêmes subdivisées verticalement en une ou plusieurs strates.
- constitution d'une base de données normalisée afin d'assurer la conservation des données, leur stockage et leur utilisation ultérieure. Le modèle de base de données sol à utiliser est décrit dans la norme NF X 31-560. Le standard national « DONESOL » est compatible avec ce modèle. Le dictionnaire de données et l' interface de saisie sont accessibles librement.

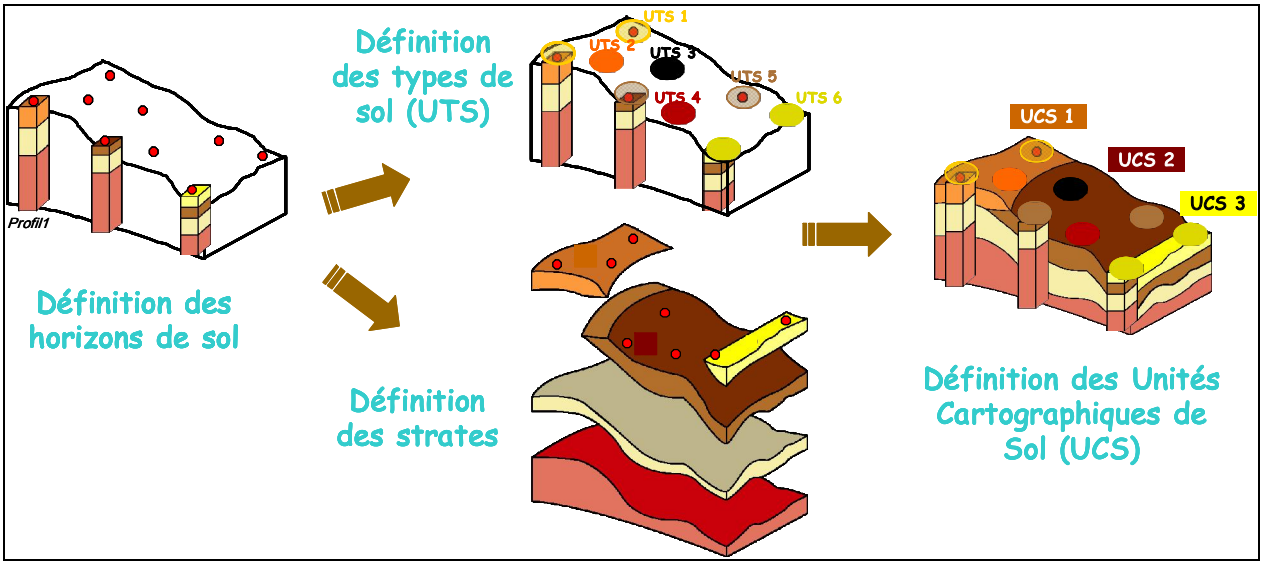
Précision de la carte

Niveau de résolution et d'analyse

Le type d'action à mener, la résolution recherchée ainsi que la taille du territoire concerné conditionnent la densité d'échantillonnage.

Les levés cartographiques devront ainsi être réalisés suivant un « niveau de résolution et d'analyse » défini par les valeurs moyennes situées dans l'encadré « Précision d'une carte des sols ».

Il est recommandé d'effectuer ces levés à une échelle supérieure à celle de restitution de la carte (par exemple 1/10 000 pour une carte à 1/25 000).



ETAPES DE REALISATION D'UNE CARTE DES SOLS : PHASE DE TERRAIN AVEC REALISATION DE FOSSES OU PROFILS ET DEFINITION DES HORIZONS DE SOL ; PHASE DE SYNTHESE DES DONNEES AVEC DEFINITION DES TYPES DE SOL (UTS), DES STRATES ET DES UNITES CARTOGRAPHIQUES DE SOL (UCS) (© INRA ORLEANS)

Éclairage

Principales démarches en cartographie des sols

On distingue couramment trois grandes démarches en cartographie des sols :

- *L'approche raisonnée* (dite «classique») : les facteurs paysagiques (géologie, géomorphologie, orientation des pentes, végétation…) sont dans un premier temps différenciés par le pédologue qui, en fonction de leur combinaison, établit un plan d'échantillonnage des sites d'observation. Les lois de distribution des sols sont établies sur la base d'un raisonnement logique et la localisation des observations laissée à l'appréciation de l'expert cartographe en fonction du milieu naturel. Cette approche est utilisée à toutes les échelles de cartographie. Le type d'action à mener ainsi que la taille du territoire concerné vont déterminer l'échelle de travail qui conditionnera le degré de résolution et d'analyse nécessaire (par exemple pour du 1/10 000, il faut une observation pour 2 à 3 ha).

- *L'approche systématique par maillage* : les sites d'observation sont très nombreux et choisis au départ selon un procédé d'échantillonnage systématique (grille de maille définie).

- *L'approche numérique* : la méthode consiste à observer le sol ponctuellement et mettre en œuvre des moyens mathématiques pour interpoler et généraliser à toute la surface. Cette approche fait appel aux traitements statistiques, géostatistiques et aux Systèmes d'Information Géographique. Elle intervient en amont de la cartographie ou en aval d'une typologie des sols. En amont elle concerne essentiellement l'établissement d'un plan d'échantillonnage adéquat à l'objectif cartographique mais peut servir également à la localisation de secteurs de référence. En aval, ces méthodes statistiques sont généralement utilisées pour prédire la variabilité spatiale de paramètres ponctuels pour des secteurs non connus. Cette méthode, qui peut paraître très alléchante, n'est pas encore utilisée en routine. Elle doit s'appuyer sur de solides connaissances de terrain et bénéficier d'un appui scientifique au risque de produire des cartes et des esquisses sans grand rapport avec la réalité du terrain.

Contours des UCS

Les UCS représentées sur la carte sont constituées chacune d'un ou plusieurs polygones ou plages cartographiques. La taille de ces plages cartographiques (superficie, forme) et donc des UCS doit être compatible avec l'échelle de représentation.

Il est généralement estimé que la plus petite surface représentable et repérable sur une carte doit permettre de mettre en évidence des plages cartographiques ayant une surface de ¼ de cm^2 (carré de 5 mm de côté et/ou un cercle de 2,8 mm de rayon). Si les contours de la zone cartographiée sont pratiquement parallèles, ils doivent être au moins distants de 2 mm. Ainsi, à l'échelle de 1/250 000, la plus petite plage de forme carrée pouvant être cartographiée est de 150 ha (1250 m x 1250 m) ; à l'échelle de 1/10 000, la plus petite plage cartographiable est de 0,25 ha (50 m x 50 m).

La précision des limites d'unités est variable et fonction de l'échelle ; elle est jugée correcte si l'erreur mesurée sur la carte ne dépasse pas 4 mm dans 10 % des cas (Legros, 1996).

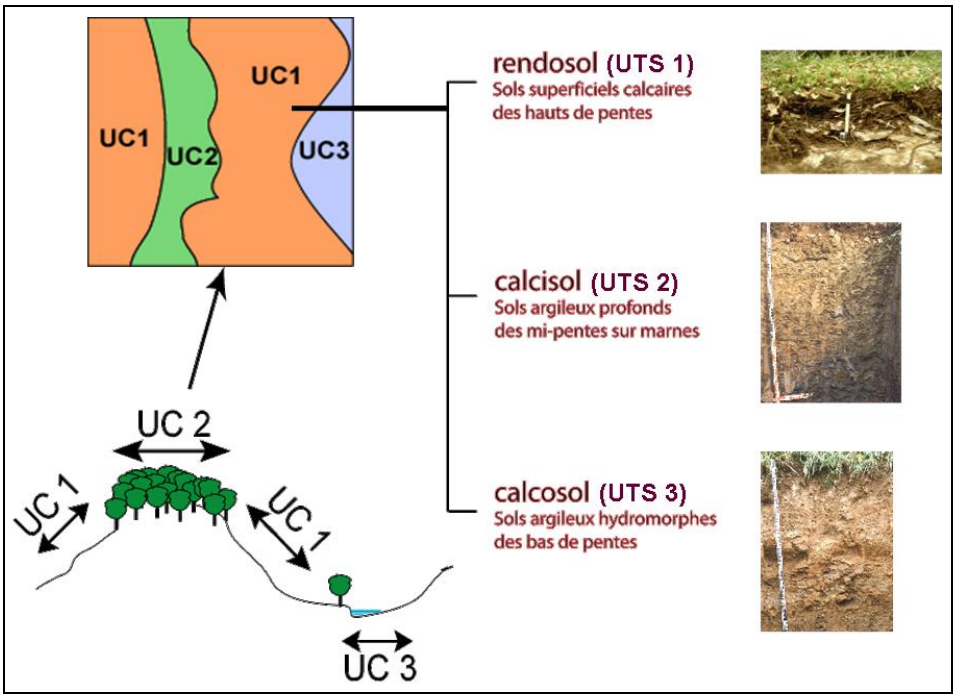
Contenu des UCS

En règle générale, la densité des observations doit être suffisante pour atteindre un niveau de fiabilité des données supérieur à 90 % par UCS.

Les UCS définies sont soit des UCS simples, composées d'une seule Unité Typologique de Sols (UTS), soit des UCS complexes composées de plusieurs UTS. La pureté des UCS est fonction de l'échelle d'étude et/ou de représentation :

- à moyenne et petite échelles (1/50 000 à 1/250 000), les unités cartographiques sont complexes (hétérogènes), constituées de une ou plusieurs UTS dont les contours individuels ne peuvent être représentés à l'échelle considérée ; par contre, leur mode d'organisation spatiale (chaîne, séquence, juxtaposition de sols, etc.) ainsi que leur pourcentage relatif de surface au sein de l'UCS peuvent être définis ;

- à grande échelle (1/10 000 à 1/25 000), les unités cartographiques sont généralement simples (composées d'une seule UTS). La variabilité des données sol est faible au sein des unités.



AUX MOYENNES ET PETITES ECHELLES, LES UNITES CARTOGRAPHIQUES DE SOLS (UCS OU UC) SONT COMPLEXES. TROIS UC ONT AINSI ETE DEFINIES SUR CET EXEMPLE A PARTIR DES FACTEURS PAYSAGIQUES ET DES LOIS DE DISTRIBUTION DES SOLS. L'UC1 EST REPRESENTEE PAR DEUX PLAGES CARTOGRAPHIQUES. IL S'AGIT D'UNE UNITE COMPLEXE, CONSTITUEE DE TROIS UNITES TYPOLOGIQUES DE SOLS (UTS) (© CNERTA-ENESAD DIJON).

Éclairage

Précision d'une carte des sols

NIVEAUX DE RESOLUTION ET D'ANALYSE D'UNE CARTE DES SOLS

Echelle de restitution	*Densité moyenne de sondages / ha*	*Nombre de sondages / jour*	*Densité moyenne de profils / ha*	*Surface couverte/ jour en ha*
1/250 000	1 sondage pour 200 à 600 ha	< 10	1 profil pour 2000 à 6000 ha	≥ 4000
1/100 000	1 sondage pour 30 à 60 ha	10	1 profil pour 500 à 1000 ha	≥ 450
1/50 000	1 sondage pour 10 à 30 ha	15	1 profil pour 200 à 300ha	≥ 300
1/25 000	1 sondage pour 5 à 10 ha	15 à 20	1 profil pour 50 à 100 ha	100 à 200
1/10 000	1 sondage pour 2 à 3 ha	18 à 22	1 profil pour 10 à 50 ha	40 à 60
1/5 000	1 sondage pour 0,5 à 1 ha	30	1 profil pour 5 à 10 ha	30

En fonction du niveau de résolution et d'analyse choisi pour la carte des sols, le pédologue doit se conformer à une densité d'échantillonnage en sondages et en profils définie par les valeurs ci-dessus. Ces références valent pour les levés en zones de plaine de complexité moyenne. Elles doivent par contre être minorées dans les zones peu complexes et majorées dans celles présentant une forte variabilité.

NIVEAUX DE PRECISION SUR LES LIMITES CARTOGRAPHIQUES – EQUIVALENCES ENTRE PRECISION SUR LA CARTE ET PRECISION SUR LE TERRAIN, SELON LES ECHELLES (LEGROS, 1996)

Echelles	*Précision sur la carte*	*Précision sur le terrain*
1/250 000	au maximum, erreur de 4 mm dans 10 % des cas	1 000 m
1/100 000		400 m
1/50 000		200 m
1/25 000		100 m
1/10 000		40 m
1/5 000		20 m

AVANTAGES ET LIMITES DES DIFFERENTS OUTILS DE CONNAISSANCE DES SOLS SUR UN TERRITOIRE

Outils	*Type d'information apportée*	*Avantages*	*Limites d'utilisation*
Typologies Régionales (Référentiels Régionaux Pédologique à 1/250 000)	Types de sols et caractéristiques Surfaces concernées par les types de sols (si RRP) Clé de détermination	Rattachement à une typologie générale, cohérence régionale Permet d'orienter des études détaillées Connaissance globale des types de sol	Typologie peu adaptée à de petits territoires Données non spatialisées Ne permet pas de prendre en compte les relations fonctionnelles entre les sols Incompatible avec l'échelle parcellaire
Typologies locales (Secteurs de Référence)	Types de sols et caractéristiques pour un territoire limité Clé de détermination	Adaptée au contexte local Outil d'échantillonnage et d'extrapolation des références Connaissance précise des types de sol Outil de préconisations techniques à la parcelle Aide à la décision Outil d'animation facilement accessible Reconnaissance facile par des non initiés	Données non spatialisées Connaissance faible de la proportion de chaque type de sol Ne permet pas de prendre en compte les relations fonctionnelles entre les sols
Zonages "aux dires"	Localisation des types de sols dans l'espace à partir d'une typologie locale	Rattachement des sols d'une exploitation à une typologie locale Compatible avec une approche parcellaire (zonage à dires d'agriculteurs) Outil d'animation et de discussion, appropriation de la typologie correspondante Faible coût	Fiabilité de rattachement incertaine Nécessité de compétences d'animation et d'expertise Adhésion des agriculteurs indispensable
Esquisse cartographique	Localisation des types de sols dans l'espace à partir d'une typologie et de la connaissance des facteurs du milieu	Cohérence avec les composantes du paysage Rapidité de mise en œuvre Faible coût Suffisante pour le choix de zones d'action	Précision faible Fiabilité du rattachement incertaine Incompatible avec l'approche parcellaire
Carte des sols	Localisation des types de sols dans l'espace sans utiliser de typologie préalable	Cohérence avec les composantes du paysage Précision des limites Connaissance précise des caractéristiques des sols Rattachement à un standard de base de données	Opération "lourde", coûteuse

Que retenir ?

Le tableau précédent résume les avantages et les limites des différents outils de connaissance sur les sols. Le choix d'un outil sera fonction du type de besoin, ponctuel ou spatial, fonction lui-même de la problématique traitée. Mais qu'il s'agisse de typologie, de zonage ou de cartographie, les mêmes recommandations doivent être faites :

- le recueil des données nécessite obligatoirement des connaissances en pédologie ;
- la numérisation des données recueillies est indispensable à leur conservation, leur stockage et à leur utilisation thématique ; il conviendra d'effectuer cette numérisation sous un format compatible avec celui du standard national DONESOL.

Pour en savoir plus…

Sources d'informations pédologiques :

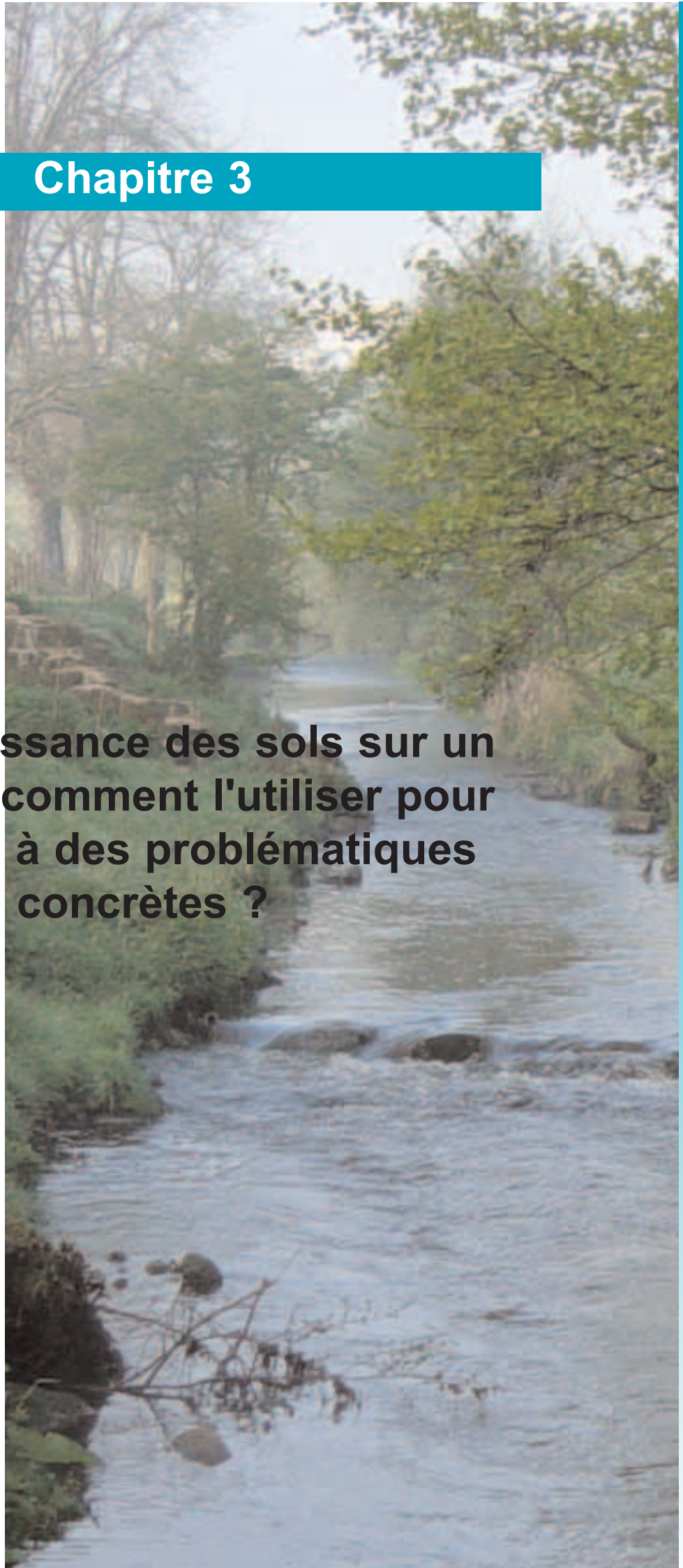
- **DONESOL** : modèle de base de données pédologiques et base de données nationale des informations spatiales pédologiques http://www.gissol.fr/outil/donesol/donesol.php
- **IGCS** : programme national Inventaire, Gestion et Conservation des Sols http://www.gissol.fr/programme/igcs/igcs.php
- **REFERSOLS** : répertoire national des études cartographiques de sol (disponible prochainement) http://www.gissol.fr/outil/outils.php

Méthodes de typologie, zonage et cartographie des sols :

- **AFNOR (septembre 2007)** - *NF X 31-560. Qualité des sols. Cartographie des sols appliquée à toutes les échelles. Acquisition et gestion informatique des données pédologiques en vue de leur utilisation en cartographie des sols,* 15 p.
- **IGCS (1992)** - *Cahier des clauses techniques générales pour la réalisation de l'étude pédologique d'un Secteur de Référence. In* Programme IGCS, Ministère de l'Agriculture, Paris. (voir Annexe I du CCTG suivant)
- **IGCS (2002)** - *Cahier des Clauses Techniques Générales (CCTG) pour la réalisation d'une étude pédologique en vue d'établir un référentiel sol local*, 10 p.
- **INRA, Unité Infosol (2005)** - *Référentiel Régional Pédologique. Cahier des Clauses Techniques et Générales. De la réalisation à la labellisation des bases de données sols au 1/250 000*, 20 p.
- **INRA, US 1106 Infosol (2007)** - *DONESOL version 2.0. Dictionnaire des données. Pour utilisation dans le cadre du programme « Inventaire, Gestion et Conservation des Sols » (I.G.C.S.)*, 355 p.
- **Jamagne M. (1967)** - *Bases et techniques d'une cartographie des sols.* Annales Agronomiques, vol. 18, n° hors-série, Éditions INRA, 142 p. et cartes.
- **Legros J.P. (1996)** - *Cartographies des sols. De l'analyse spatiale à la gestion des territoires.* Coll. Gérer l'Environnement. Presses polytechniques et universitaires romandes, 370 p.
- **Walter C., King D., Lagacherie P., Robbez-Masson J.M. (2005)** - *L'analyse spatiale des sols : description, modélisation et représentation de la variabilité spatiale des sols. In* Sols et environnement, Éditions Dunod, Paris, pp. 187-215.

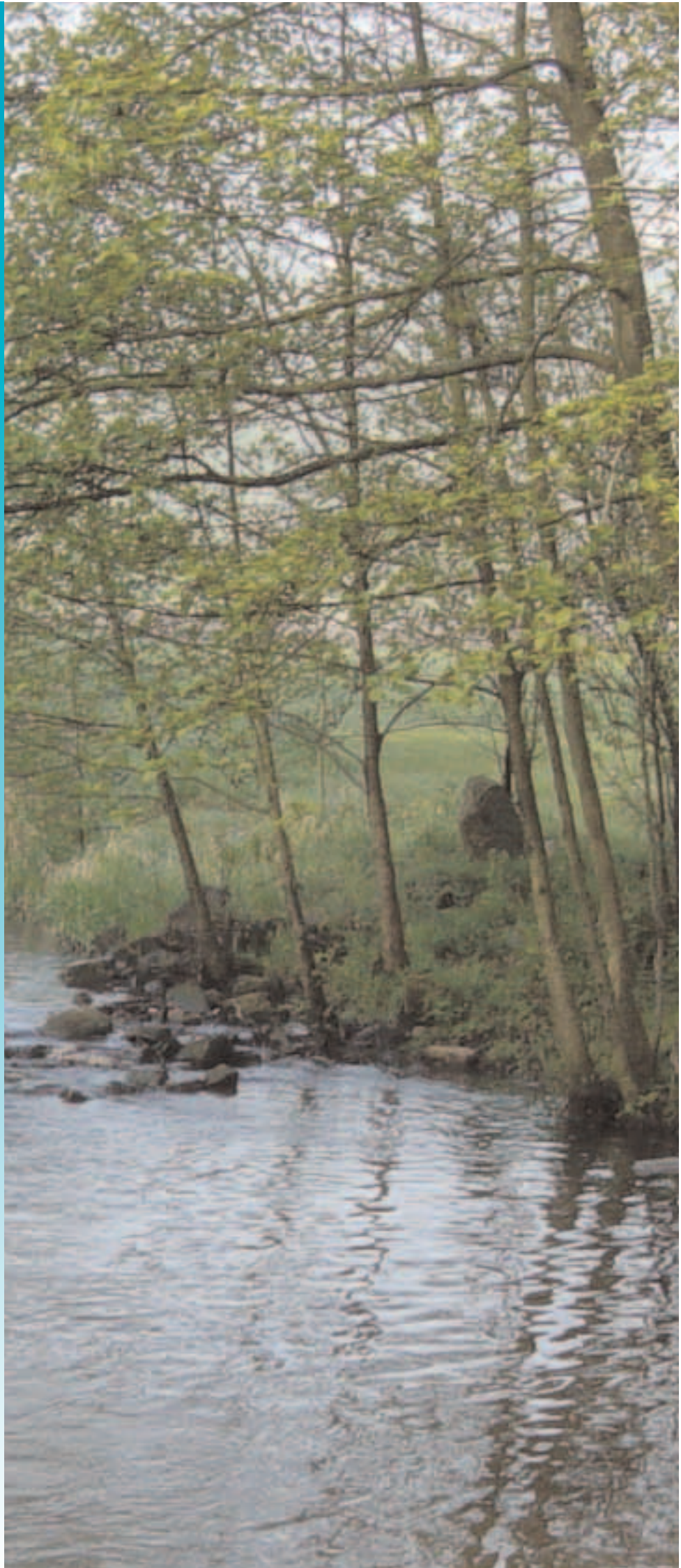
Exemples de typologie, zonage et cartographie des sols :

- **Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne (2005)** – *Guide conseil n°4. Classification agronomique et comportementale des sols de Seine-et-Marne*, 176 p.
- **Minette S. et Cam C. (2007)** - *Acquisition de références sur les sols des périmètres du Thouarsais visant à l'amélioration de la qualité de l'eau.* Contrat nappe du Pays Thouarsais, 56 p.



Chapitre 3

La connaissance des sols sur un territoire, comment l'utiliser pour répondre à des problématiques concrètes ?



Chapitre 3. La connaissance des sols sur un territoire, comment l'utiliser pour répondre à des problématiques concrètes ?

Pour répondre aux problématiques liées à l'eau sur un territoire, tout ou partie de l'information disponible sur les sols de ce territoire sera mobilisée. Au préalable, les questions posées devront être clairement définies localement par les acteurs. Les outils disponibles et facilement mobilisables - compte tenu des compétences des « chargés d'études » - devront être identifiés. Ce chapitre illustre, à travers quelques exemples de problématiques territoriales, les données et les outils disponibles pour les « conseillers » ou « chargés d'études ».

3.1. La définition claire des problématiques : un passage obligé

Quelles questions et dans quels registres ?

Avant de se lancer dans une acquisition longue et difficile de données relatives aux sols des territoires, il est impératif d'identifier et de formuler clairement et précisément les problématiques auxquelles le conseiller ou le chargé d'étude souhaitent répondre. Cela nécessite à la fois un travail d'expert et une validation du praticien.

De nombreuses problématiques techniques et environnementales sur les territoires nécessitent l'acquisition de références sur les sols. De façon très schématique, les questions posées relèvent de deux registres différents :

Le registre « compréhension et quantification des processus »

« Je veux comprendre et quantifier les processus liés au sol à l'origine des altérations de la qualité de l'eau ; l'objectif est d'établir un diagnostic des risques en fonction de la sensibilité du milieu. »

➔ phase de sensibilisation des acteurs et de compréhension des processus

Le registre « élaboration de références pour l'action »

« Je veux des données et des références techniques pour agir sur les pratiques agricoles en vue de réduire les risques environnementaux. »

Pour réussir, il faut :

- évaluer l'état initial et l'impact potentiel de nouvelles pratiques tant du point de vue environnemental que technique et économique, en fonction du type de sol ;
- fournir des éléments d'aide à la décision permettant d'adapter les pratiques au type de sol ;
- évaluer *a posteriori* l'impact réel de ces nouvelles pratiques.

➔ phase de conception, mise en œuvre et évaluation de solutions techniques

Exemples de questions dans le registre « compréhension et quantification des processus »

- Explication et quantification de la dynamique de l'azote dans les sols (reliquats azotés à la récolte, en sortie hiver, azote disponible pour la culture suivante, etc.) ;

- Explication et quantification de la dynamique de l'eau dans différents types de sol : Réservoir Utilisable Maximal - RUM - (fréquemment assimilé à la Réserve Utile - RU), recharge en eau des sols, estimation de la quantité d'eau percolée (lame drainante) ;

- Explication et quantification des mécanismes de lixiviation de l'azote : quantification des flux dans différents types de sol (notion de « sols à risques », hiérarchisation et détermination des zones à risques) ;

- Evolution des matières actives et de leurs dérivés, évaluation des risques de transfert vers les aquifères en fonction du type de sol ;

- Quantification et évolution de la matière organique des sols (stabilisation, entraînement) ;

- Statut et dynamique du phosphore (mode d'entraînement, quantité transférée) ;

- Compréhension des phénomènes de battance et d'érodibilité et influence sur la circulation de l'eau (ruissellement) et des matières en suspension (érosion) ;

- Caractérisation de l'engorgement en eau des sols et effet sur le flux et la qualité de l'eau (potentiel de dénitrification) ;

- Evaluation du pouvoir épurateur des sols.

Une nécessité de références sur les comportements des sols

Comprendre et quantifier les processus en cause dans l'altération de la qualité de l'eau nécessitent des références sur les comportements des sols. Celles-ci sont principalement des caractéristiques des sols, mais elles peuvent également intégrer des informations sur le milieu, les aptitudes culturales et les pratiques. Ces références constituent des variables d'entrée ou des paramètres de modèles de fonctionnement des agrosystèmes étudiés.

Exemples de références : RUM, profondeur d'enracinement maximale, minéralisation annuelle de l'azote, érodibilité de l'horizon de surface, praticabilité des parcelles, etc.

Exemples de questions dans le registre « élaboration de références pour l'action »

- Estimation du réservoir utilisable maximal en eau des sols pour suivre la recharge des nappes d'eau souterraine, et gérer l'irrigation ;

- Potentialités de production des cultures en fonction du type de sol afin de fixer des objectifs de rendements réalistes et de définir des systèmes de culture adaptés par type de sol ;

- Evaluation de la minéralisation annuelle de l'azote des sols d'un territoire et de la fourniture du sol pour différentes cultures ;

- Aptitudes des sols aux Techniques Culturales Sans Labour ;

- Evaluation de la praticabilité des parcelles (portance) par exemple pour des semis tardifs de blé tendre d'hiver ou après des cultures intermédiaires, ou pour des applications de produits phytosanitaires ;

- Gestion des apports d'effluents organiques en fonction du type de sol (opportunité, risques, faisabilité) ;

- Potentialité de développement des Cultures Intermédiaires Pièges A Nitrates (CIPAN) selon le type de sol et capacité à piéger les nitrates (adaptation des dates d'implantation et de destruction).

Une nécessité de références sur l'impact technico-économique et environnemental de pratiques alternatives incluant les sols

Proposer et mettre en œuvre des solutions nécessite des références sur l'impact technico-économique et environnemental de pratiques alternatives. Ces références intègrent des processus complexes liés à l'interaction « sol x climat x système de culture ».

Exemple de références : potentiel de rendement, potentialité de développement des CIPAN, flux de nitrates, quantité d'eau percolée, etc.

Que retenir ?

Dans tous les cas de figure, il sera indispensable de hiérarchiser les questions sachant qu'il ne sera pas possible de répondre à toutes. Le choix des questions à traiter résulte d'un compromis entre les demandes exprimées par les agriculteurs et les techniciens et les enjeux vis-à-vis de la protection de la ressource en eau.

Ces exemples montrent que les références sur les sols interviennent à la fois pour le diagnostic des pratiques actuelles et pour la mise en œuvre et l'évaluation de nouvelles pratiques.

3.2. Avec quels outils et méthodes répondre à ces questions ?

Plusieurs approches possibles

Plusieurs approches sont possibles, qui utilisent des outils et démarches très variés : de l'enquête, aux « dires d'expert », à l'utilisation d'un modèle de simulation ; l'essentiel étant que les références produites soient fiables, validées, reconnues et utilisées.

Cinq types d'approches sont détaillés ci-après :

- dires d'experts,
- données recueillies sur le terrain,
- « indicateurs » simples,
- fonctions ou règles de pédotransfert,
- simulation à partir de modèles plus ou moins complexes.

Dires d'experts

Principe

Les références sont obtenues par enquêtes ou entretiens auprès d'agriculteurs, techniciens ou conseillers possédant une connaissance du contexte local, connaissance très souvent empirique et issue du terrain. Ces informations essentielles à recueillir constituent souvent une première réponse rapide aux questions posées.

Pour juger de leur fiabilité, les informations obtenues auprès des différents experts doivent être recoupées entre elles puis, si possible, comparées aux résultats obtenus par des indicateurs (analyses, simulations) ou des données expérimentales.

Avantage, inconvénient

Cette première approche nécessite l'utilisation d'une « clé d'identification et de caractérisation » des sols, commune à tous les acteurs du territoire. En fonction des renseignements obtenus, il sera possible de définir les secteurs géographiques du bassin versant sur lesquels l'effort d'acquisition de données devra être produit car les références sont peu abondantes ou n'existent pas.

Données recueillies sur le terrain

Principe

Il s'agit d'observations de type enquête agronomique, de résultats d'expérimentations ou de mesures réalisées sur le sol, l'eau ou les végétaux (mesures physiques, analyses physico-chimiques). En amont de la collecte d'informations, le plan d'échantillonnage est une étape clé de ce type d'approche. En effet, selon la thématique étudiée ou le contexte local, l'objectif pourra être de :

- mettre en place un plan d'échantillonnage représentatif de la diversité des situations pédologiques et/ou des systèmes de culture (caractère exhaustif) ;
- privilégier certains types de sols et/ou de systèmes de culture dont l'impact sur la qualité de l'eau a été mis en évidence au préalable.

Avantage, inconvénient

Cette approche est plus précise que la consultation « d'experts » mais nécessite des observations et des expérimentations souvent longues et onéreuses (suivi d'un protocole d'expérimentation, analyses de terre, d'eau, de végétaux, etc.). En particulier, pour prendre en compte la variabilité interannuelle liée au climat, il faut faire des répétitions sur plusieurs années, ce qui augmente les coûts de façon importante.

Par ailleurs, certains mécanismes sont difficilement, voire non observables aisément sur le terrain (quantités d'eau percolée pendant une période donnée par exemple).

Utilisation d'indicateurs « simples »

Principe

Des références de base sur les sols sont parfois nécessaires pour renseigner ces indicateurs. Cette démarche est souvent complémentaire de l'acquisition de données par enquête et permet généralement de juger d'une pratique ou/et de hiérarchiser des risques environnementaux.

Avantage, inconvénient

Les indicateurs sont souvent simples d'utilisation et fournissent un résultat qualitatif, souvent non chiffré. Cependant, il n'existe pas forcément un indicateur pour répondre à chaque question et certaines problématiques nécessitent une réponse quantitative, c'est-à-dire chiffrée.

Par exemple : « Hiérarchisation des risques de pertes d'azote par lixiviation pour différentes successions de cultures ».

➔ *Un indicateur « simple » (ex. MERLIN, fiche 5) pourra hiérarchiser les successions culturales. Cependant, pour obtenir des indications sur les quantités d'azote perdues, il sera nécessaire de recourir à des outils plus complexes (ex. STICS).*

Par ailleurs les indicateurs existants ont souvent été élaborés dans un contexte donné (milieu, systèmes de culture) ; il faut vérifier que leur domaine de validité est adapté au contexte local.

Fonctions ou règles de pédotransfert

Principe

Certaines références sur les sols peuvent être établies à l'aide de fonctions ou de règles de pédotransfert : il s'agit de relations statistiques (fonctions) ou de type « système expert » (règles) permettant d'estimer des variables non mesurées à partir des caractéristiques connues de différents types de sol.

Par exemple : la sensibilité à la battance, l'érodibilité de l'horizon de surface, le RUM, la densité apparente ou les propriétés d'adsorption vis-à-vis des produits phytosanitaires peuvent être estimés à partir de la granulométrie, de la matière organique, de la profondeur, etc.

Avantage, inconvénient

Les règles de pédotransfert peuvent être simples (exemple : un horizon limono-argileux stocke 2 mm d'eau par cm de sol) ou très complexes et nécessitent parfois une connaissance pointue des paramètres du sol (porosité / infiltrabilité). Elles permettent d'accéder à des variables de sortie difficiles à mesurer *in situ*.

Cependant, leur domaine de validité est restreint et elles doivent absolument être paramétrées et validées localement.

Approche par simulation à partir de modèles plus ou moins complexes

Principe

Un modèle est une représentation conceptuelle, donc simplifiée, des processus réels. L'informatisation des modèles permet de simuler un grand nombre de combinaisons et donc de tester des situations inaccessibles par les autres approches.

Certains modèles sont développés à des fins de recherche et d'autre à des fins opérationnelles pour étudier et limiter, par exemple, la pollution des eaux par les nitrates et les produits phytosanitaires.

Avantage, inconvénient

La démarche de simulation est assez fastidieuse et exigeante en temps ; il est indispensable de bien renseigner les variables d'entrée et les paramètres du modèle qui permettent de décrire le système agro-pédologique (sols, pratiques culturales, climat). Pour cela, le recours aux approches précédentes est en général nécessaire.

Cependant, l'approche par simulation apporte souvent des réponses précises et chiffrées aux principales questions qu'un animateur peut se poser sur un territoire. Elle est souvent capable de rendre compte de la variabilité interannuelle des phénomènes (analyse fréquentielle) et

permet d'accéder à des variables de sortie difficiles à mesurer *in situ*.

L'utilisation de la simulation est souvent perçue comme trop abstraite et éloignée de la réalité. Il est donc indispensable de confronter et comparer les résultats de simulations à des résultats obtenus sur le terrain, par exemple lames drainantes, teneurs en azote du sol (kg/ha), biomasse produite (t/ha), afin de montrer que la simulation peu être un outil fiable et complémentaire des expérimentations de terrain.

La simulation génère fréquemment beaucoup de résultats qu'il est nécessaire :

- d'analyser pour définir leur exactitude, leur domaine de validité et leur pertinence ;
- de synthétiser et simplifier afin de les rendre compréhensibles et valorisables.

3.3. Illustrations par deux cas concrets de ces différentes approches ; intérêts et limites de ces approches

En fonction des problématiques étudiées et des moyens engagés, certaines approches sont plus pertinentes que d'autres. Deux cas concrets sont présentés ci-après.

- **Question 1** : estimation de « l'objectif de rendement » d'un blé tendre en fonction du type de sol pour calculer la quantité d'azote à apporter et éviter la sur-fertilisation de la culture et les risques de pollution des eaux par les nitrates ;
- **Question 2** : estimation du Réservoir Utilisable Maximal (RUM) en eau des sols d'un territoire.

Question 1 : estimation de « l'objectif de rendement » d'un blé tendre en fonction du type de sol

Définition claire de la problématique

La question reformulée peut être : « Quel niveau de rendement une culture de blé tendre peut-elle atteindre en moyenne (ou médiane), 1 année sur 5 et 4 années sur 5 sur un type de sol donné avec un itinéraire technique habituellement pratiqué dans la région ? »

Cette référence est utile pour fixer un objectif de rendement pertinent lors du calcul de la dose d'azote à apporter ou pour choisir un itinéraire technique à bas niveau d'intrant. Elle permet d'éviter les excès d'azote à la récolte et la pollution des eaux par les nitrates.

Approches possibles, intérêts et limites

Les démarches qu'il est possible de mettre en œuvre pour répondre à la question, ainsi que les intérêts et limites de chaque type d'approche, sont présentés dans le tableau suivant.

DEMARCHES ENVISAGEES PAR TYPE D'APPROCHE POUR ESTIMER L'OBJECTIF DE RENDEMENT DU BLE TENDRE EN FONCTION DU TYPE DE SOLS, INTERETS ET LIMITES.

Type d'approche	*Démarche envisagée*	*Intérêts*	*Limites*
Dires d'experts	consultation de techniciens et agriculteurs ⇨ établissement, par consensus, de niveaux de rendements pour les différents types de sols	- rapide à mettre en œuvre ; - participatif, implication des conseillers et agriculteurs.	- pas toujours très fiable (souvent meilleures années citées) ; - ne permet pas de comprendre les facteurs limitants du rendement.
Données recueillies	recueil de données par enquêtes, ou à partir de réseaux de suivi des cultures ou d'expérimentations, sur différents types de sols ⇨ analyse de ces données pour définir les niveaux de rendement	- résultats corrélés aux conditions pédoclimatiques locales ; - assez rapide à mettre en œuvre (enquêtes et suivis agronomiques) ; - démonstratif.	- fiabilité variable en fonction du nombre de données et de leur origine ; - lourdeur des expérimentations ; - difficultés à synthétiser des données issues de différentes sources.
Indicateurs simples	à partir de courbes de rendement ou indicateurs exemple : courbe de potentialité établie en Lorraine	- utilisation relativement simple et rapide ⇨ réponse rapide à une question posée ; - possibilités d'estimer un niveau de risque (de ne pas atteindre le rendement).	- ne donnent pas toujours des estimations chiffrées précises ; - faible intégration de l'incertitude liée aux critères spatiaux (réseau bocager, forme des parcelles) et temporels (chroniques de pluies, des pratiques).
Modèles complexes	estimation de rendement à partir d'outils de simulation dans différents contextes de sol et de climat exemples : STICS, CERES, AZODYN	- accès à un grand nombre de combinaisons ; - intégration de la variabilité spatio-temporelle des critères du milieu physique et des pratiques ; - réponse « chiffrée » et précise (références).	- complexes à mettre en œuvre ; - demandent des données d'entrée précises souvent peu renseignées ; - coût élevé (temps et financement) ; - confrontation nécessaire avec des résultats d'essais pour vérifier la pertinence des résultats obtenus ; - difficultés d'analyses des résultats générés ; - problème d'acceptabilité des modèles et des résultats générés.

Question 2 : estimation du Réservoir Utilisable Maximal (RUM) en eau des sols d'un territoire

Définition claire de la problématique

La question reformulée peut être : comment attribuer des classes ou valeurs de RUM à différents types de sols identifiés sur un territoire ?

Cette référence est utile pour évaluer les potentialités des cultures, calculer des besoins en eau pour l'irrigation, estimer les quantités d'eau infiltrées, etc.

Approches possibles, intérêts et limites

Les démarches qu'il est possible de mettre en œuvre pour répondre à la question, ainsi que les intérêts et limites de chaque type d'approche, sont présentés dans le tableau ci-après.

DEMARCHES ENVISAGEES PAR TYPE D'APPROCHE POUR ESTIMER LE RESERVOIR UTILISABLE MAXIMAL EN EAU DES SOLS D'UN TERRITOIRE, INTERETS ET LIMITES

Type d'approche	*Démarche envisagée*	*Intérêts*	*Limites*
Dires d'experts	une consultation d'agriculteurs et/ou de techniciens peut permettre un classement des sols des plus au moins séchants, donnant ainsi une bonne idée de la variabilité du réservoir utile.	- simple et rapide à mettre en œuvre ; - participatif, implication des conseillers et agriculteurs.	valeurs pas toujours très fiables car subjectives
Données recueillies	à partir de données mesurées pour les différents horizons des profils représentatifs, telles que l'humidité à la capacité au champ, l'humidité au point de flétrissement permanent et la densité apparente, il est possible de calculer le RUM sur l'ensemble du profil.	valeurs issues de mesures qui restent difficiles à contester	- mesures longues et coûteuses ; - valeurs attachées à un point particulier.
Indicateurs simples	une bonne estimation du RUM est possible à partir des niveaux de rendement obtenus en année sèche.	- simple et rapide à mettre en œuvre - participatif, implication des conseillers et agriculteurs - basé sur un critère objectif.	d'autres facteurs que le RUM peuvent expliquer les niveaux de rendement.
Règles de pédotransfert	à partir de règles de pédotransfert s'appuyant sur des données sol (texture, épaisseur, charge en cailloux, nature des cailloux, etc.), il est possible de calculer une valeur de RUM par horizon puis sur l'ensemble du profil.	- calcul simple à réaliser ; - valeurs peu contestables ; - bonne appropriation de ces données.	- besoin de données exhaustives sur les sols ; - nécessité de disposer d'une règle de pédotransfert validée localement.

3.4. Quelques exemples de questions et d'utilisation des données « sols »

Les quelques exemples suivants ont pour objectif de présenter différentes utilisations de données « sols » pour acquérir des références ponctuelles ou à l'échelle d'un territoire et répondre ainsi à des problématiques concrètes.

Neuf fiches exemples

- Fiche 1. Evaluation des risques de pollution par les nitrates pour différents sols de la région Poitou-Charentes – Impact des cultures intermédiaires pièges à nitrates (CIPAN) (utilisation du modèle STICS) ;
- Fiche 2. Evaluation du réservoir utile maximal (RUM) des sols de la région Poitou-Charentes ;
- Fiche 3. Classification des bassins versants alsaciens en fonction de leur sensibilité aux produits phytosanitaires ;
- Fiche 4. Grille de risque pour une opération FERTI-MIEUX de conseil aux agriculteurs pour limiter les fuites de nitrates en Alsace ;
- Fiche 5. Hiérarchisation des risques potentiels de pertes d'azote par lixiviation en fonction des successions de cultures et des pratiques de fertilisation et de gestion de l'interculture : indicateur MERLIN ;
- Fiche 6. Références pour la détermination d'objectifs de rendement par type de sol en Lorraine ;
- Fiche 7. Estimation de l'aléa érosif des sols en région Languedoc-Roussillon et confrontation aux enjeux locaux ;
- Fiche 8. Etude, par simulation, de l'impact de scénarios de changements de pratiques ou de choix culturaux sur la qualité des eaux (utilisation du modèle SWAT).
- Fiche 9. Estimation de l'aptitude à l'épandage d'effluents organiques sur les sols.

Fiche 1

Utilisation des données « sols » pour répondre à des problématiques territoriales

Titre	**Evaluation des risques de pollution par les nitrates pour différents sols de la région Poitou-Charentes – Impact des cultures intermédiaires pièges à nitrates (CIPAN) (Utilisation du modèle STICS)**
Problématique (diagnostic, actions sur territoire)	Acquisition de références / Connaissances des risques liés aux pratiques actuelles
Type de données « sols » utilisées :	- texture (% argile), N org, % calcaire, densité apparente, % de cailloux, épaisseur des horizons, etc. - humidités caractéristiques ; - profondeur d'enracinement.
Autres données nécessaires :	- données climatiques (étude fréquentielle sur 35 ans) ; - pratiques culturales (cultures et interculture).
Echelle de travail :	Unités pédoclimatiques en Poitou-Charentes (sols + stations climatiques)

Approche & outils utilisés pour répondre à la question

utilisation du logiciel de simulation STICS (v5.0) développé par l'INRA

Description :

- Objectifs

  La diversité pédoclimatique de la région Poitou-Charentes a été abordée par l'étude de quatorze sols représentatifs de l'hétérogénéité régionale et de trois stations climatiques sur 35 années.

  A travers l'étude de cas par simulation, nous avons évalué l'influence de CIPAN sur les bilans d'eau et d'azote pendant l'interculture (drainage, pertes d'azote) et sur la culture suivante (disponibilité en eau et en azote). Les simulations nous ont aussi permis de définir des dates de levée et de destruction optimales satisfaisant conjointement les impératifs agronomiques et les exigences environnementales. Ces résultats ont été confrontés à des observations et mesures réalisées sur des essais menés en Poitou-Charentes entre 2001 et 2005.

  Par ailleurs, l'étude fréquentielle de différents contextes pédoclimatiques a mis en évidence la variabilité des réponses selon la station climatique et le sol étudié, d'où une adaptation parfois nécessaire des préconisations agronomiques en fonction du pédoclimat mais aussi de l'année.

- Résultats

  Les résultats des simulations conduisent à une hiérarchisation des différents sols en fonction du risque « concentration en nitrates de l'eau infiltrée » qui dépend principalement de la minéralisation du sol pendant l'interculture et de la sensibilité à l'infiltration verticale de l'eau. L'efficacité des cultures intermédiaires (moutarde, Ray Gras Italien) est démontrée, quel que soit le contexte pédoclimatique de la région.

  En termes d'itinéraire technique, l'efficacité maximale de la moutarde est souvent obtenue pour des dates de levée au 1er septembre. La diminution maximale des pertes d'azote est atteinte avec des couverts détruits tardivement (février). Cependant, le maintien du couvert au-delà du 1er décembre n'engendre un complément de réduction des pertes que faible à très faible en fonction du climat.

Comment acquérir les données sols nécessaires à cette question :

- compilation des données « sols » disponibles sur la région (programme IGCS, stations INRA, rencontres avec pédologues de la région) ;
- réalisations d'analyses de sols et de profils d'enracinement.

Date : 2004-2005

Contact : S. Minette, Chambre Régionale d'Agriculture de Poitou-Charentes (05.49.55.61.74) - Sebastien.MINETTE@poitou-charentes.chambagri.fr

Fiche 2

Utilisation des données « sols » pour répondre à des problématiques territoriales

Titre	Evaluation du Réservoir Utilisable Maximal (RUM) des sols de la région Poitou-Charentes
Problématique (diagnostic, actions sur territoire)	Evaluation des réserves utiles pour réaliser des calculs de quantités d'eau percolée, recharge en eau des aquifères, etc.
Type de données « sols » utilisées :	- texture (argile, limon, sable), - humidités caractéristiques (pF 4,2 et pF 2,5), - densités apparentes (Da), - profondeur des horizons de sols, - profondeur d'enracinement des cultures, - éléments grossiers, - nature du substrat.
Autres données nécessaires :	- données climatiques - couverture du sol (sol nu, culture en place, etc.)
Echelle de travail :	Région Poitou-Charentes – Référentiel régional pédologique 1/250 000

Approche & outils utilisés pour répondre à la question

Utilisation de fonctions de « pédotransfert » à partir des caractéristiques de différents sols pour établir des cartes de réservoir utilisable maximal

Description :

- Objectifs

  L'objectif de cette étude a été de définir une méthode simple d'estimation du réservoir utilisable maximal (RUM) des sols de la région Poitou-Charentes à partir de la base de données DONESOL (IGCS) à 1/250 000. Deux méthodes ont été testées et comparées :

  ✓ méthode Bruand (Bruand *et al.*, 2004) : les paramètres Da, pF 2,5 et 4,2 sont estimés à partir de la texture et des caractéristiques du sol (à partir des horizons et des classes de textures). L'épaisseur de calcul est inférieure ou égale à 120 cm ;

  ✓ méthode Poitou-Charentes : le RUM est estimé à partir de la méthode établie dans l'Aisne (Jamagne et *al.*, 1977), mais adaptée à la région Poitou-Charentes : le Kj, coefficient d'estimation en fonction de la texture (Aisne) a été remplacé par le Kpc validé par des mesures réalisées sur des sols de la région. L'épaisseur de calcul est inférieure ou égale à 120 cm.

  Cette deuxième méthode a été conservée pour l'étude des sols (plus opérationnelle et adaptée au contexte régional).

  Pour la base de données DONESOL (INRA) : utilisation des tables « STRATE », « CONTIENT », « UTS » et « UCS » pour extraire les paramètres d'entrée des règles de pédotransfert.

- Résultats

  A partir de ces calculs de RUM, des estimations de lames drainantes ont été réalisées à l'échelle de 3 périmètres de captage d'eau dans le Thouarsais (79). Ces calculs pourront être utilisés pour estimer la recharge de nappe ou analyser la vulnérabilité des eaux souterraines aux pollutions diffuses.

Comment acquérir les données sols nécessaires à cette question :

Base de données IGCS 1/250 000

Date : mars – juin 2006

Contact : C. Cam, IGCS Poitou-Charentes, Chambre Régionale d'Agriculture (05.49.44.74.47) - catherine.cam@poitou-charentes.chambagri.fr

Fiche 3

Utilisation des données « sols » pour répondre à des problématiques territoriales

Titre	**Classification des bassins versants alsaciens en fonction de leur sensibilité aux produits phytosanitaires**
Problématique (diagnostic, actions sur territoire)	Diagnostic, hiérarchisation des bassins versants pour des priorités de surveillance de la qualité des eaux et d'actions sur un territoire
Type de données « sols » utilisées :	- sensibilité à la battance (texture, MO, CaCO3, pH) et expertise ; - niveau d'hydromorphie ; - présence d'une rupture de perméabilité.
Autres données nécessaires :	- précipitations ; - pentes ; - perméabilité du substrat géologique ; - épaisseur de la zone non saturée ; - densité du réseau hydrographique et du réseau de drainage ; - occupation du sol.
Echelle de travail :	Unités cartographiques de sols à 1/100 000 pour l'Alsace

Approche & outils utilisés pour répondre à la question

Méthode de diagnostic régional CORPEN (en cours d'élaboration en 2002)

Description :

L'évaluation de la vulnérabilité des bassins versants a été réalisée en trois étapes :

- définition des modes d'écoulement et répartition des flux d'eau vers les eaux superficielles ou vers les eaux souterraines, à partir d'une combinaison des données de pentes et de caractéristiques des sols, et pour deux saisons climatiques différenciées par le régime des précipitations ;
- prise en compte du temps de transfert des flux d'eau vers la ou les ressources exposées qui peut être un facteur aggravant. Un temps de transfert bref diminue la probabilité de dégradation ou d'adsorption des substances actives ;
- modulation par l'occupation du sol. Globalement une terre labourable, du bâti, une forêt ou une prairie conduisent à des niveaux de pertes des produits phytosanitaires différents.

Une note globale de vulnérabilité a été calculée pour chacun des sous bassins analysés, et classée selon quatre niveaux de vulnérabilité. On obtient ainsi quatre zonages distincts combinant les deux ressources, eaux superficielles et eaux souterraines, et deux périodes climatiques, printemps-été et automne-hiver.

La note de sensibilité est obtenue en modulant la vulnérabilité par une note de dilution, liée à l'épaisseur de la nappe pour les eaux souterraines et au débit spécifique des cours d'eau pour les eaux superficielles.

L'évaluation de la sensibilité des bassins versants constitue la première étape de leur hiérarchisation vis-à-vis du risque phytosanitaire. L'analyse complète du risque doit prendre également en compte les pratiques d'utilisation des produits phytosanitaires. Elle doit enfin intégrer les enjeux autour de l'utilisation des ressources en eau.

Comment acquérir les données sols nécessaires à cette question :

Compilation des données de sols disponibles sur la Région (guides des sols, BD sols IGCS, BD sols France 1/1 000 000 INRA-INFOSOL) et expertise pédologue

Date : 2002 et 2004

Contact : Joëlle Sauter, Association pour la Relance Agronomique en Alsace (03.88.19.17.52)
araa@bas-rhin.chambagri.fr

Fiche 4

Utilisation des données « sols » pour répondre à des problématiques territoriales

Titre	**Grille de risque pour une opération FERTI-MIEUX de conseil aux agriculteurs pour limiter les fuites de nitrates**
Problématique (diagnostic, actions sur territoire)	Diagnostic et évaluation, définitions d'actions prioritaires et outil de pilotage
Type de données « sols » utilisées :	- sensibilité au lessivage hivernal des nitrates prenant en compte notamment le réservoir utilisable maximal (RUM) en eau des sols
Autres données nécessaires :	- connaissance des systèmes de cultures, du risque « azote » qu'ils présentent (balance azotée excédentaire, couverture du sol en hiver) et de leur répartition spatiale (enquêtes et données PAC)
Echelle de travail :	Unités cartographiques de sols à 1/100 000 pour une petite région agricole

Approche & outils utilisés pour répondre à la question

Sensibilité au lessivage des nitrates d'après le modèle de BURNS (1976)
Grille de risque FERTI-MIEUX (Sebillotte et Meynard 1990)

Description :

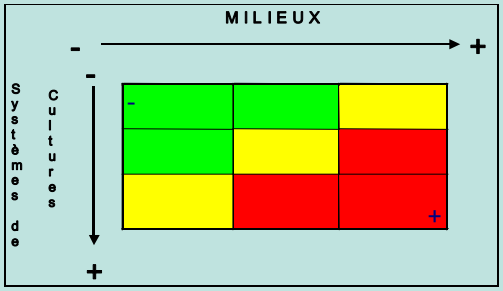
La grille de risque a pour objectif de hiérarchiser les risques de pertes de nitrates en croisant les systèmes de culture et les sols, chacun étant rangé dans l'ordre des risques croissants de pertes de nitrates, la combinaison du sol le plus sensible avec le système de culture le plus sensible conduisant au risque le plus élevé.

La connaissance des systèmes de culture sur le territoire concerné est obtenue par enquête auprès des agriculteurs (succession de cultures, pratiques de fertilisation : dose et fractionnement, taux de couverture du sol, apport de déjections animales). Leur importance est évaluée grâce aux données statistiques (PAC, recensement agricole).

La sensibilité des sols au lessivage des nitrates peut être estimée de différentes manières :

- modèle de BURNS exprimant la fraction d'azote nitrique, initialement réparti sur l'ensemble du profil de sol, qui sera entraîné hors de portée des racines sous l'effet du drainage interne ;
- méthode CORPEN bâtie sur l'analyse du rapport « réserve en eau du sol » sur « pluie hivernale ».

Grâce à la connaissance de la répartition spatiale de chaque système de culture sur les différents types de sols, il est possible d'afficher dans le tableau les surfaces occupées par chaque système de culture sur chaque type de sol. On obtient, à l'échelle du territoire le % de surface à risque +/- élevé.



Ce tableau permet dans un premier temps de cibler les situations prioritaires (en rouge) sur lesquelles il faut concentrer les actions de conseils aux agriculteurs pour qu'elles aient le plus d'impact sur la réduction des risques de pollution azotée. Ce tableau permet aussi de faire un suivi de l'efficacité des actions dans le temps en indiquant les évolutions de surfaces dans les cases du tableau.

Comment acquérir les données sols nécessaires à cette question :

Données sols extraites de la BDD sols à 1/100 000 et traitées pour une typologie de sols appliquée avec un nombre limité de types de sols pour lesquels des références et du conseil agronomique sont disponibles

Date : en application depuis 1997 pour 8 opérations FERTI-MIEUX en Alsace

Contact : Marie-Line Burtin, Association pour la Relance Agronomique en Alsace (03.88.19.17.52)
araa@bas-rhin.chambagri.fr

Fiche 5

Utilisation des données « sols » pour répondre à des problématiques territoriales

Titre	**Hiérarchisation des risques potentiels de pertes d'azote par lixiviation en fonction des successions de cultures et des pratiques de fertilisation et de gestion de l'interculture : indicateur MERLIN**
Problématique (diagnostic, actions sur territoire)	- réalisation de diagnostics sur des territoires - élaboration de programmes d'actions
Type de données « sols » utilisées :	- type de sol - réservoir utilisable maximal (RUM)
Autres données nécessaires :	- pratiques agricoles de gestion des cultures et de l'interculture
Echelle de travail :	Echelle parcellaire ou territoire (agglomération des parcelles)

Approche & outils utilisés pour répondre à la question

Utilisation de l'indicateur MERLIN (Méthode de hiErachisation du Risque de LIxiviation du Nitrate)

Description :

MERLIN est issu de la combinaison de 3 indicateurs, exprimés en classes : Equif (indicateur de l'équilibre de fertilisation), IC (indicateur de gestion de l'interculture), Sensib (sensibilité du sol à l'infiltration) souvent établie par des pédologues et cartographiée, ou classée en fonction du type de sol et de son réservoir utilisable maximal. Le croisement de ces 3 indicateurs s'appuie sur des règles élaborées à dire d'experts. Ces règles reposent sur l'hypothèse que les 3 indicateurs n'ont pas le même poids et ne sont pas additifs.

Données nécessaires par parcelle :

- connaissance indispensable des sols du territoire étudié (nature, localisation) ;
- type de sol, RUM et/ou « classe de Sensibilité à l'infiltration verticale de l'eau » ;
- culture récoltée, rendement obtenu, dose totale d'azote minéral apportée, apports organiques (effluents, prairie) ;
- modalités de gestion des résidus (exportés, enfouis, mulchés) ;
- nature, niveau de développement et date de destruction des repousses ou d'une éventuelle culture intermédiaire piège à nitrates ;
- nature et date de semis de la culture suivante.

MERLIN est un indicateur de risque et non d'impact (pas de prise en compte du climat ni de la minéralisation automnale du sol). Les classes et la combinaison sont établies à dire d'expert et basées sur des références régionales. Cette expertise nécessite d'être évaluée pour s'assurer du bien fondé de la hiérarchisation de différentes situations en terme de risques de fuite d'azote (poids accordé à chaque indicateur et interactions, pertinence des limites de classe).

Utilisation en Poitou-Charentes :

- réalisation de diagnostics préalables à différentes actions bassins versants (Ferti-Mieux, périmètres de captage) ;
- suivi et évaluation d'actions territoriales (suivi global de l'évolution des risques sur un territoire agricole et visualisation de leur répartition spatiale) ;
- suivi et évaluation des risques dans des exploitations certifiées ISO 14001.

Comment acquérir les données sols nécessaires à cette question :

Pour utiliser cet indicateur, il est nécessaire de connaître le sol (type, RUM) à l'échelle de la parcelle ou du territoire. Cette information peut-être obtenue en compilant :

- la connaissance des agriculteurs (hétérogénéité des parcelles, réserve utile, profondeur du sol, etc.) ;
- les cartes des sols existantes à différentes échelles (1/10 000 à 1/250 000) ;
- le recensement (à dires d'expert) des types de sols présents sur un territoire.

Date : 2005

Contact : S. Minette, CRA PC (05.49.55.61.74) - Sebastien.MINETTE@poitou-charentes.chambagri.fr

Fiche 6

Utilisation des données « sols » pour répondre à des problématiques territoriales

Titre	**Références pour la détermination d'objectifs de rendement par type de sol en Lorraine**
Problématique (diagnostic, actions sur territoire)	Outil d'aide à la décision pour l'ajustement de la fertilisation azotée pour des actions sur le territoire
Type de données « sols » utilisées :	4 critères d'identification au niveau parcellaire : profondeur d'un obstacle à la tarière ou charge en cailloux en surface, nature du matériau atteint en fond de tarière, succession texturale, sensibilité à l'excès d'eau.
Autres données nécessaires :	Etude fréquentielle du déficit hydrique climatique (ETP-P) sur 46 stations régionales. Zonage départemental de 3 indicateurs du risque climatique : médiane, 1er et 4ème quintile du déficit hydrique.
Echelle de travail :	Parcelle

Approche & outils utilisés pour répondre à la question :

Typologie régionale des sols, réseau d'observations parcellaires, modélisation statistique de la relation Rendement = f(Déficit climatique) par type de sol.

Description :

Pour chacun des 10 grands types de sol cultivés en Lorraine, un tableau fournit une estimation du rendement potentiel pour les principales cultures régionales, en fonction de 2 critères :

- caractéristiques du type de sol (variantes selon la profondeur ou la charge en cailloux),
- déficit climatique probable du site géographique de la parcelle

Le déficit climatique est lu sur des cartes régionales en fonction de la localisation de la parcelle, de l'espèce et du niveau de risque accepté (médiane, 1er ou 4ème quintile). Le type de sol est identifiable par observation à la tarière selon un code à 4 critères simples (cf. ci-dessus). Pour chaque type de sol, le rendement est obtenu par une équation de la forme : Rdt = a - b * Déficit climatique

Fiche n° 2 : sols à cailloux des plateaux calcaires. Rendement potentiel (q ou t de M.S.)

Types de sols	Espèces	Déficit climatique (mm)								
		100	125	150	175	200	225	250	275	300
C – IV – A^+ - S > 45% de cailloux en surface	Colza	29	27	26	25	23	22	19		
	Blé		66	61	57	52	47	42	38	33
	Orge hiver	63	60	56	53	50	46	43		
	Maïs	12,8	11,1	9,4	7,5	5,9	4,2			
C – III – A^+ - S 25 à 45% de cailloux en surface	Colza	30	29	28	26	25	24	22		
	Blé		71	66	62	57	53	49	44	40
	Orge hiver	65	62	60	57	54	51	48		
	Maïs	13,2	11,7	10,1	8,6	7,0	5,5			
C – II – A^+ - S 10 à 25% de cailloux en surface	Colza	32	30	29	27	26	24	22		
	Blé		73	69	65	61	57	53	49	45
	Orge hiver	66	64	61	58	55	53	50		
	Maïs	13,3	11,8	10,3	8,8	7,3	5,8			

Comment acquérir les données nécessaires à cette question :

Esquisse pédologique régionale et étude de secteurs de référence pour réaliser l'inventaire des sols (« Atlas des sols de Lorraine », Jacquin et Florentin, 1988)
Elaboration d'une méthode d'identification des sols accessible aux agriculteurs (Limaux, 1996)
Réseau pluriannuel d'observations parcellaires dans les principaux types de sols (environ 120 stations suivies par an pendant 5 ans)

Date : 1998

Contact : Emmanuel Hance (Chambre régionale d'agriculture de Lorraine)
emmanuel.hance@lorraine.chambagri.fr

Fiche 7

Utilisation des données « sols » pour répondre à des problématiques territoriales

Titre	**Estimation de l'aléa érosif des sols en région Languedoc-Roussillon et confrontation aux enjeux locaux**
Problématique (diagnostic, actions sur territoire)	Diagnostic, confrontation aux enjeux locaux
Type de données « sols » utilisées :	Sensibilité à la battance et à l'érodibilité (éléments grossiers, texture, MO, fer) et expertise
Autres données nécessaires :	- occupation du sol - pentes - hauteur des pluies - intensité des pluies
Echelle de travail :	Référentiel Régional Pédologique (programme IGCS) à 1/250 000

Approche & outils utilisés pour répondre à la question :
Modèle hiérarchique d'estimation de l'aléa érosif relatif à l'érosion hydrique des sols (modèle INRA http://erosion.orleans.inra.fr/index2.php ; Le Bissonnais *et al.*, 2000)

Description :

La base de données des Sols du Languedoc-Roussillon a été utilisée pour estimer l'aléa érosif des sols à l'échelle régionale et évaluer son impact sur les enjeux humains. L'érosion hydrique des sols représente des risques environnementaux et économiques importants : coulées boueuses, contamination des eaux par les pesticides et les matières en suspension (MES), dégâts générés dans les vignobles en AOC, les zones protégées, ou les zones habitées, etc.

Pour cartographier l'aléa érosif, l'INRA d'Orléans a développé un modèle hiérarchique intégrant les paramètres suivants :

- occupation des sols,
- battance,
- pente,
- érodibilité,
- intensité et hauteur des pluies (agressivité).

Les paramètres de battance et d'érodibilité des sols sont estimés à partir de règles de pédotransfert utilisant le taux d'éléments grossiers, la texture, le taux de matières organiques et le taux de fer (spécificité du milieu méditerranéen) décrivant les strates de surfaces de la base de données BD Sol-250 inhérente au Référentiel Régional Pédologique du Languedoc-Roussillon. Les cartographies obtenues montrent la variabilité interannuelle de l'aléa érosif en région Languedoc-Roussillon et font ressortir quelques zones particulièrement sensibles.

L'impact de l'aléa érosif a ensuite été analysé en établissant trois indicateurs permettant d'estimer les enjeux : urbains, viticoles et qualité des eaux superficielles. Ces indicateurs ont permis de montrer que les zones d'habitat concentré en zones littorales et notamment les zones périurbaines entourant les grandes villes sont les plus sensibles. L'estimation de l'influence de l'aléa érosif sur la qualité des eaux superficielles a quant à elle montré le poids important du facteur saisonnier sur l'altération de la qualité des eaux superficielles, notamment par des teneurs en matières en suspension plus élevées en automne. Enfin, la confrontation des zones d'appellations et de l'estimation de l'aléa érosif a permis d'identifier que les vignobles les plus sensibles à l'aléa érosif sont localisés aux environs de Carcassonne et de Montpellier, les vignobles localisés en plaine littorale étant moins sensibles.

Comment acquérir les données nécessaires à cette question :
Référentiel Régional Pédologique 1/250 000

Date : 2005

Contact : Sylvie Barthes-Estela, Chambre Régionale Languedoc-Roussillon - (04.67.20.88.75) - sylvie.barthes@languedocroussillon.chambagri.fr

Fiche 8

Utilisation des données « sols » pour répondre à des problématiques territoriales

Titre	**Etude, par simulation, de l'impact de scénarios de changements de pratiques ou de choix culturaux sur la qualité des eaux**
Problématique (diagnostic, actions sur territoire)	Acquisition de références / Connaissances des risques liés aux pratiques actuelles pour l'action sur le territoire
Type de données « sols » utilisées :	Typologie des sols à partir des critères : profondeur, perméabilité, texture et teneur en matière organique
Autres données nécessaires :	- occupation du sol - topographie - données climatiques (étude fréquentielle sur 35 ans) - pratiques culturales (cultures et interculture)
Echelle de travail :	Bassin versant ou territoires

Approche & outils utilisés pour répondre à la question :

Utilisation du modèle SWAT

Description :

L'outil de modélisation retenu est le modèle SWAT développé par l'USDA. Ce modèle a été conçu pour intégrer, au moyen de lois physiques, le rôle du milieu (le sol, le climat, la topographie, la nappe souterraine et les cours d'eau) et des activités agricoles, par une représentation assez fine des itinéraires techniques et des propriétés des sols. Il a été validé sur de grands bassins dans différentes régions du monde. Sa mise en œuvre nécessite une base de données, un calage et une validation du modèle sur une période et en des points où des mesures sont disponibles sur les flux d'eau, de nutriments, de produits phytosanitaires et de sédiments dans différents compartiments hydrologiques (surface du sol, zone racinaire, nappe souterraine ou cours d'eau). L'intérêt d'un tel modèle est triple :

- mieux comprendre le fonctionnement du système et les relations entre pressions agricoles, milieu et qualité des eaux, en hiérarchisant le rôle des différents facteurs ;
- cartographier les niveaux de pollution sur des secteurs non mesurés et les facteurs de risque et de vulnérabilité (indices tels que la lame écoulée, le lessivage, le ruissellement, le stockage des nutriments dans le sol et dans la nappe aquifère, etc.) ;
- étudier l'impact de scénarios de changements de pratiques ou de choix culturaux sur la qualité des eaux.

Le modèle SWAT requiert des données d'entrée spatialisées : les cultures ou successions culturales, la topographie, la météorologie et les sols. Il combine à ces données des paramètres comme les pratiques agricoles associées aux successions culturales pour estimer les flux dans la zone sous-racinaire, les nappes et les cours d'eau. Parmi les variables d'entrée du modèle, les données sur le sol sont souvent insuffisamment disponibles et de ce fait leur usage est critique (Bioteau *et al.*, 2002).

Sur la Moine (3850 ha), l'intérêt de la méthode de cartographie a été testé en paramétrant les entités spatiales issues des combinaisons d'indice topographique et de lithologie. Les paramètres du sol introduits sont : la profondeur, la perméabilité, la texture et la teneur en matière organique supposée égale à 1 %. Un seul horizon est saisi puisque la méthode d'analyse cartographique n'offre pas le moyen d'estimer l'organisation du sol en différents horizons. L'occupation du sol est déduite du traitement d'images SPOT sur 2 années afin d'obtenir les successions culturales (qui sont plus pertinentes que de simples cultures annuelles pour évaluer les risques de lessivage de nitrates). Les pratiques agricoles ont été renseignées à partir d'une enquête auprès d'un échantillon de 80 agriculteurs. La climatologie est tirée des données de Météo France (BD Climathèque). La BD Alti de l'IGN permet de prendre en compte l'effet de la topographie dans les processus d'écoulement.

Comment acquérir les données nécessaires à cette question :

Typologie des sols (cartes des sols)

Date : mars 2007

Contact : J.P. Rossignol, AGROCAMPUS OUEST et F. Laurent, Université du Maine, Le Mans Francois.Laurent@univ-lemans.fr

Fiche 9

Utilisation des données « sols » pour répondre à des problématiques territoriales

Titre	**Estimation de l'aptitude à l'épandage d'effluents organiques sur les sols**
Problématique (diagnostic, actions sur territoire)	Acquisition de références / Connaissances des risques liés aux pratiques actuelles et futures pour l'action sur un territoire
Type de données « sols » utilisées :	- réservoir utilisable maximal, - texture, - nature roche mère, - hydromorphie, - CEC, pH, teneur en calcaire, teneurs en éléments traces métalliques, - indice de battance.
Autres données nécessaires :	- données climatiques (précipitations, évapotranspiration), - occupation du sol, pratiques culturales, - topographie (pente), - distances réglementaires (cours d'eau, etc.), - types d'effluents (fluidité, pH, rapport C/N).
Echelle de travail :	Unités cartographiques de sols à 1/100 000 de la carte de Dijon

Approche & outils utilisés pour répondre à la question :

Utilisation d'une méthode générique (en termes d'échelle et de type d'effluent) d'estimation de l'aptitude à l'épandage développée par l'INRA ; outil correspondant en cours de développement.

Description :

La méthode utilisée considère l'aptitude comme une combinaison de différents éléments :

- le pouvoir épurateur qui est la capacité du sol à stocker ou à dégrader les polluants contenus dans les matières épandables. Ainsi, trois risques majeurs intervenant dans le pouvoir épurateur sont distingués : le risque de transfert des polluants vers les eaux superficielles, le risque de transfert des polluants vers les eaux souterraines, le risque de contamination des sols et des plantes ;
- l'occupation du sol : culture, prairie, forêt, etc. ;
- le type d'effluent organique (en six classes) ;
- le volet réglementaire prenant en compte les restrictions de pH, d'occupation du sol et de pente ;
- les contraintes technico-économiques intégrant la pente pour caractériser l'accessibilité aux parcelles.

Chacun de ces éléments reçoit une contrainte d'épandage qui est soit qualifiée de mineure si elle permet l'épandage sous certaines conditions, soit qualifiée de majeure si l'épandage ne peut pas être autorisé, soit nulle si l'épandage est possible sans conditions particulières. Les résultats obtenus sont des cartes de la réglementation en cours ainsi que des cartes d'aptitudes pour chaque type d'effluent.

L'échelle et l'utilisation des cartes d'aptitude obtenues sont bien sûr fonctions de l'échelle des données d'entrée. Ces cartes sont destinées à orienter de futures décisions concernant la gestion des épandages des déchets organiques : détermination des zones aptes à l'épandage, test de scenarii de développement de filières et de débouchés agricoles ou non agricoles.

Une application de la méthode a été réalisée sur la carte pédologique numérisée de Dijon à 1/100 000. L'aptitude à l'épandage des différents types de déchets organiques a été estimée sur ce territoire. Puis, le scénario d'une collectivité (Dole), qui souhaiterait développer la filière des biodéchets ménagers et leur épandage sur les sols, a été testé. Ce scénario tient compte des pratiques d'épandage déjà existantes sur les surfaces aptes en termes de types de déchets, de quantités épandues et d'apports de fertilisants par ces déchets (N, P). Il montre que l'épandage supplémentaire de biodéchets serait possible sur la plupart des cantons, sans compétition entre les déchets d'origine agricole et ceux d'origine urbaine.

Comment acquérir les données nécessaires à cette question :

- bases de données géographiques sur les sols (format DONESOL si possible) ;
- autres données non numérisées (typologies, cartes) pour une utilisation manuelle de l'outil.

Date : novembre 2006

Contact : N. Schnebelen, INRA Orléans – (02.38.41.78.50) – Nathalie.Schnebelen@orleans.inra.fr

3.5. Quelques exemples d'indicateurs et de modèles mobilisant des données sols

Les indicateurs (voire les modèles) sont, aujourd'hui, régulièrement utilisés dans les territoires, pour réaliser des diagnostics ou pour évaluer des actions mises en œuvre (compréhension des mécanismes en jeu, évaluation de la modification de pratiques agricoles sur la qualité de l'eau, etc.).

Des indicateurs variés utilisant des données sols

Les quelques exemples présentés ci-après démontrent que la connaissance et les « données » sur les sols sont indispensables à l'utilisation de ces outils.

Cette liste, non exhaustive, d'indicateurs, a pour objectif d'illustrer les utilisations possibles de ce type d'outils (évaluation, prospection) et les champs d'applications (gestion de l'azote et des produits phytosanitaires, risque d'érosion).

Exemples d'indicateurs « azote » et « phytosanitaires »

Pour compléter cette liste, vous pouvez vous référer à deux brochures, éditées par le CORPEN (Comité d'ORientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'ENvironnement) sur les indicateurs « azote » et « phytosanitaires » :

- Des indicateurs AZOTE pour gérer des actions de maîtrise des pollutions à l'échelle de la parcelle, de l'exploitation et du territoire (octobre 2006) document téléchargeable : indicateurs AZOTE.

- Des indicateurs pour des actions locales de maîtrise des pollutions de l'eau d'origine agricole : Eléments méthodologiques - application aux produits phytosanitaires (juin 2003) document téléchargeable : partie I - partie II et annexes.

Avertissement

Les données sur les sols ne permettent pas de répondre à toutes les questions et d'une manière générale, « le sol ne dit pas tout ». En fonction des objectifs, d'autres données sont également à prendre en compte, telles que des données sur :

- la typologie des exploitations et des systèmes de cultures et de production,
- le contexte climatique,
- la topographie,
- l'hydrographie,
- la géologie,
- l'hydrogéologie, etc.

QUELQUES EXEMPLES D'INDICATEURS, DE METHODES ET DE MODELES UTILISABLES SUR DES TERRITOIRES POUR QUANTIFIER LES RISQUES DE POLLUTION DES EAUX.

Indicateurs ou modèles	*Utilisations possibles*	*Contacts*
Modèle Lixim	Estimation de la lame d'eau drainante, des pertes d'azote par lixiviation. Ce modèle permet d'estimer la minéralisation en sol nu.	INRA, Laon (B. Mary)
Modèle STICS	Estimation des variables de sorties relatives à la production (quantité et qualité), à l'environnement (pertes en eau et nitrates) et à l'évolution des caractéristiques du sol sous l'effet de la culture à partir de la caractérisation du climat, du sol, de l'espèce cultivée et des techniques culturales appliquées.	INRA, Avignon (N. Brisson) *(http://www.avignon.inra.fr/stics)*
Indicateurs MERLIN & ARTHUR	Estimation des risques de transferts de polluants (nitrates, substances actives phytosanitaires) vers les aquifères à l'échelle de la parcelle, de l'exploitation ou d'un petit territoire.	Chambre Régionale d'Agriculture de Poitou-Charentes (S. Minette)
Méthode INDIGO	Evaluation de l'impact environnemental des pratiques agricoles sur l'air, l'eau de surface et l'eau souterraine grâce à une série d'indicateurs qui recensent l'utilisation de l'azote, du phosphore, des produits de traitement phytosanitaires, de l'eau, de la matière organique, des ressources énergétiques non renouvelables, la gestion de la rotation des cultures et l'assolement	INRA, Colmar (C. Bockstaller) (http://www.inra.fr/indigo/)
Modèle Agriflux	Estimation des flux d'eau, d'azote et de pesticides à l'échelle de la colonne de sol, permettant la quantification des pertes vers les eaux superficielles et souterraines	Hydriad *(www.hydriad.com)*
Indicateur ou Méthode SIRIS (CORPEN)	Evaluation des risques potentiels de pollution par les produits phytosanitaires issus des pratiques agricoles	CORPEN *(http://www.ecologie.gouv.fr/-CORPEN-.html)*
Méthode DAE-G Diagnostic Agri-Environnemental Géographique	Méthode d'évaluation des impacts environnementaux de l'activité agricole sur l'environnement (eau, air, sol, biodiversité et paysage, voisinage). Permet à partir de la connaissance des pratiques de l'agriculteur et des caractéristiques physiques des parcelles de calculer des indicateurs d'impact à différentes échelles spatiales (parcelle, groupe de parcelles, exploitation).	Agro-Transfert Ressources & Territoires, Mons (A. Ossard) (www.alternatech.org)
Modèle SWAT	Estimation des flux d'eau, de nutriments, de produits phytosanitaires et de sédiments dans différents compartiments hydrologiques (surface du sol, zone racinaire, nappe souterraine ou cours d'eau).	USDA *(www.ars.usda.gov)*
Modèle STREAM (Sealing and Transfer by Runoff and Erosion related to Agricultural Management)	Quantification du ruissellement et des pertes en terre, tout en localisant les zones où ces phénomènes se produisent. Peut également être utilisé pour simuler les effets liés à la modification de la localisation des cultures, des façons culturales, de la disposition des parcelles, du sens de travail du sol ou pour tester l'impact d'aménagements destinés à lutter contre l'érosion (bandes enherbées, mares tampons, etc.).	BRGM Orléans (O.Cerdan), INRA Grignon (V. Souchère) INRA Orléans (A. Couturier) (http://www.orleans.inra.fr/les_unites/ur_science_du_sol/productions/les_logiciels)

Pour en savoir plus…

Outils et méthodes :

Indicateurs

- **CORPEN (2003)** - *Des indicateurs pour des actions locales de maîtrise des pollutions de l'eau d'origine agricole : Eléments méthodologiques - applications aux produits phytosanitaires.* Groupes Indicateurs et Phytoprat-Transferts, juin 2003, 136 p.
  Disponible sur internet : http://www.ecologie.gouv.fr/-Les-productions-du-Corpen-.html
- **CORPEN (2006)** - *Des indicateurs AZOTE pour gérer des actions de maîtrise des pollutions à l'échelle de la parcelle, de l'exploitation et du territoire.* Groupe Azote / Indicateurs, octobre 2006, 113 p. Disponible sur internet : http://www.ecologie.gouv.fr/-Les-productions-du-Corpen-.html
- **Sebillotte M. et Meynard J.M. (1990)** - Systèmes de culture, systèmes d'élevage et pollutions azotées, in : Calvet R. (éd), Congrès Nitrates-Agriculture-Eau, Paris, 07-08/11/1990, Editions INRA, 289-313

Fonctions ou règles de pédotransfert

- **Bruand A., Duval O. et Cousin I. (2004)** - Estimation des propriétés de rétention en eau des sols à partir de la base de données SOLHYDRO. Une première proposition combinant le type d'horizon, sa texture et sa densité apparente, *Étude et Gestion des Sols*, Vol. 11, 3, 323-332.
- **Jamagne M., Bétrémieux R., Bégon J.C. et Mori A. (1977)** – Quelques données sur la variabilité dans le milieu naturel de la réserve en eau des sols. *Bulletin Technique d'Information*, 324-325, 627-641.

Modèles

- **Bioteau T., Bordenave P., Laurent F. et Ruelland D. (2002)** - Evaluation des risques de pollution agricole à l'échelle de bassins versants: intérêts d'une approche par modélisation hydrologique avec SWAT. *Ingénieries* - EAT 32, 3-13.
- **Brisson N., Mary B., Ripoche D., Jeuffroy M., Ruget F., Gate P., Devienne-Barret F., Anatonioletti R., Durr C., Nicoullaud B., Richard G., Beaudoin N., Recous S., Tayot X., Plenet D., Cellier P., Machet J.M., Meynard J.M. et Delecolle R. (1998)** - STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. Theory and parameterization applied to wheat and corn. *Agronomie*, 18, 311-346.
- **Burns I.G. (1976)** - Equations to predict the leaching of nitrate uniformly incorporated to a known depth or uniformly distributed throughout a soil profile, *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, 86, 305-313.
- **Le Bissonnais Y., Thorette J., Bardet C. et Daroussin J. (2002)** - L'érosion hydrique des sols en France, Rapport Ifen – INRA, 106 p. Disponible sur : http://erosion.orleans.inra.fr/index2.php

Exemples de questions et d'utilisation des données sol :

- **Ansel O., Epinat V., Jeuland M.L. et Scheurer O. (1999)** - *Guide agronomique de sols du département de l'Oise.* ISAB, Conseil général de l'Oise, Chambre d'Agriculture de l'Oise, 11 dossiers (fiches de sols + cartes).
- **Cam C. (2004)** - *Livret simplifié de la carte des pédopaysages de la Vienne*, IGCS, Chambre Régionale d'Agriculture de Poitou-Charentes, 45 p.
- **Dorsainvil F. (2002)** - *Evaluation, par modélisation, de l'impact environnemental des modes de conduite des cultures intermédiaires sur les bilans d'eau et d'azote dans les systèmes de culture.* Thèse de doctorat, INA-PG, 124 p.
- **Jacquin F. et Florentin L. (1988)** - *Atlas des sols de Lorraine.* Presses Universitaires de Nancy, 113 p.
- **Limaux F. (1996)** - Élaboration d'une méthode d'identification des sols accessibles aux agriculteurs. Chambre Régionale d'Agriculture de Lorraine.

- **Limaux F., Hance E. et Florentin L. (1998)** - *Caractérisation des sols et potentialités de production : un outil de raisonnement de la fertilisation azotée.* Chambre Régionale d'Agriculture de Lorraine, 49 p.
- **Party J.P.-Sol Conseil, ARAA (Région Alsace, 2005)** - *Guide des sols d'Alsace. Petite région naturelle n°1. Outre-Forêt. Un guide pour l'identification des sols et leur valorisation agronomique*, 284 p.

Chapitre 4

Au-delà des données sur les sols, comment organiser les connaissances dans un espace géographique donné ?

Chapitre 4. Au-delà des données sur les sols, comment organiser les connaissances acquises pour un espace géographique donné ?

L'élaboration d'actions de préservation de la ressource en eau nécessite d'avoir des données fiables sur les sols, mais aussi de combiner ces données avec des données complémentaires pour améliorer la connaissance du milieu.

Pourquoi organiser les données ? Lesquelles prendre en compte ? Comment ? Une liste non exhaustive de données pertinentes est proposée. Ce quatrième chapitre se trouve en amont et/ou en aval des chapitres précédents :

- en amont car certaines données doivent être connues pour mener à bien les études de sols ; par exemples les données lithologiques et/ou morphologiques, l'utilisation du sol, les pratiques agricoles ;
- en aval car la justesse et la précision des conclusions dépendront de la qualité de l'ensemble des données recueillies et de la qualité de leur traitement.

De plus en plus, cette connaissance des territoires est structurée en bases de données voire en systèmes d'information géographique. L'accès à l'information devient plus rapide et de nombreuses personnes sont susceptibles de l'utiliser.

4.1. Pourquoi organiser les données ?

Des données nombreuses…

De nombreuses données concernant les milieux naturels et agricoles et les activités humaines sont nécessaires et sont disponibles pour gérer la protection de la ressource en eau sur un territoire donné ; encore faut-il pouvoir les trouver et les mobiliser rapidement. Ce chapitre propose un aperçu de ce qui existe avec quelques pistes pour accéder à ces informations.

et de nombreuses raisons de les organiser

Sept raisons pour organiser les données

Différentes raisons peuvent être évoquées qui justifient d'organiser les données :

- *accessibilité* par les différents acteurs (facilité d'accès) : les informations stockées sont rapidement mobilisables par les différentes personnes qui en ont besoin ;
- *pédagogie :* compréhension aisée de l'organisation et de l'utilisation de ces données ;
- *transparence :* description et documentation des données utilisées, leur niveau de précision, les éventuels

manques, les améliorations possibles (métadonnées) ;

- *traçabilité :* savoir d'où proviennent les données utilisées, comment et par qui elles ont été produites, avec quelles contraintes et pour quels objectifs (métadonnées) ;

- *efficacité d'utilisation :* les données utilisées pour le diagnostic et l'état initial seront à nouveau utiles pour le suivi des actions et leurs évaluations finales ;

- *mutualisation :* disposer de bases de données communes nécessite une attention à la compatibilité entre logiciels et même entre versions d'un même logiciel ;

- *capitalisation :* c'est le propre des banques de données.

4.2. Quelles données faut-il prendre en compte ?

Dans le cadre de la préservation de la ressource en eau sur un bassin versant, il est nécessaire d'avoir une connaissance des sols et des mécanismes de pollution de l'eau.

En effet, différents composants du milieu naturel et anthropique influent sur la disponibilité et la qualité de la ressource en eau au sein du bassin versant. La connaissance de ces composants est donc un préalable à toute étude sur l'eau.

Sept ensembles de données à prendre en compte

Les différentes données à prendre en compte peuvent se détailler en sept ensembles présentés ci-après.

Contextes géologique, morphologique et hydrographique des sols

Parmi les composants du milieu qui influent sur les types de sols et leur comportement, la lithologie et le relief sont les plus manifestes. Le couple morphologie - lithologie est sans aucun doute le premier à prendre en compte ; il est à l'origine d'une grande partie de la distribution spatiale des sols. Le réseau hydrographique structure le paysage. L'hydrogéologie est à considérer lorsque les nappes d'eau souterraine sont proches de la surface du sol.

Données météorologiques

La caractérisation du climat du territoire se fera selon les répartitions spatiales et temporelles des précipitations et des températures moyennes mais aussi maximales et minimales. L'évapotranspiration potentielle (ETP) est une donnée importante permettant de calculer un bilan de l'eau dans les sols et de mettre en évidence les saisons pédoclimatiques (épuisement et reconstitution des réserves, déficit et excédent hydriques).

Données sur l'utilisation de l'espace

- L'utilisation et l'occupation du sol (végétation naturelle, boisement, prairies, cultures pérennes, grandes cultures, ouverture / fermeture du paysage, etc.) ;
- Les systèmes de production agricoles et les techniques et pratiques des agriculteurs. Ceux-ci sont souvent associés aux territoires (pratiques de fertilisation ou de traitements).

Données sur les sols

Les cartes des sols existantes sont répertoriées. Les unités typologiques de sols sont définies par leurs caractéristiques morphologiques et analytiques. Ces données sont de plus en plus informatisées (Donesol). Elles peuvent avoir été traitées : par exemple le RUM (réservoir utilisable maximal) peut avoir été calculé par l'intermédiaire de formules ou de relations statistiques (humidité à la capacité au champ en fonction de la texture). Ces données sont à utiliser en tenant compte de leurs conditions de détermination. Les fonctions et les règles de pédotransfert permettent d'estimer des caractéristiques non mesurées (voir chapitre 3).

Zonages réglementaires

Les périmètres de protection de captage d'eau potable, les zones protégées telles que les sites Natura 2000 ou les ZNIEFF (Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique), les zones inondables, etc. sont répertoriés.

Données sur les autres activités humaines

Le développement des villes et des infrastructures de communication sont des données qui peuvent dans certains cas être intéressantes à prendre en considération. La connaissance des PLU (Plan Local d'Urbanisme) et des SCOT (Schéma de COhérence Territorial) permet de mieux visualiser l'évolution d'un territoire.

Données sur les ressources en eau

Les ressources en eau d'une région et leur localisation en surface ou en profondeur sont, par essence, des aspects essentiels des études pédologiques visant la protection des eaux contre les pollutions d'origine agricole.

4.3. Forme d'organisation des données

Une organisation de plus en plus informatisée

Les données que nous venons d'énumérer étaient traditionnellement disponibles sous forme analogique, c'est-à-dire sous la forme de rapports écrits et de cartes sur papier.

Pour les raisons que nous avons indiquées précédemment (facilité d'accès, de traitement, etc.) elles sont de plus en plus souvent rendues disponibles sous forme numérique, organisées dans des systèmes informatiques.

Des « SGBD » et des « SIG »

Les informations numériques sont structurées, c'est-à-dire organisées au sein de ce qu'il est convenu d'appeler des bases de données.

- Lorsque les données décrivent seulement des caractéristiques (descriptions d'horizons de sols par exemple), la gestion et la manipulation de ces bases de données font appel à des logiciels spécialisés que l'on appelle des « Systèmes de Gestion de Bases de Données » (SGBD), souvent relationnelles (SGBD-R).

- Dès lors que les données décrivent en plus des caractéristiques spatiales, c'est-à-dire des localisations et des formes dans un espace géographique (descriptions d'unités cartographiques de sols par exemple), on fait appel à des « systèmes d'information géographique » (SIG).

Pourquoi les utiliser ?

L'utilisation de tels outils permet :

- la collecte (saisie, contrôle, etc.),
- l'organisation (mise en forme, structuration, etc.),
- le stockage (pérennisation),
- la gestion (sauvegardes, droits d'accès, etc.),
- l'exploitation (requêtes, combinaisons, traitements statistiques, production de nouvelles données, etc.),
- la restitution (cartes, rapports, etc.),
- la diffusion (mise en ligne, distribution, etc.) de données, qu'elles soient ou non géo-référencées.

Ces opérations nécessitent souvent de faire appel à des spécialistes (informaticiens, administrateurs de bases de données, statisticiens, géomaticiens).

Des données descriptives et des données géographiques

Au sein d'une base de données géographique deux types de données coexistent.

Des données descriptives

Les données descriptives, également dites *données sémantiques* parce qu'elles confèrent du sens aux objets, sont liées ou non à des données géographiques.

Dans le cas de données pédologiques, les caractéristiques morphologiques et analytiques des différents types de sols constituent des exemples de données descriptives. Le logiciel « Donesol » est un SGBD-R développé dans le cadre du programme IGCS pour regrouper l'ensemble des données descriptives des objets pédologiques (profils, sondages, unités typologiques de sols, etc.) pour les études conduites en France.

Des données géographiques

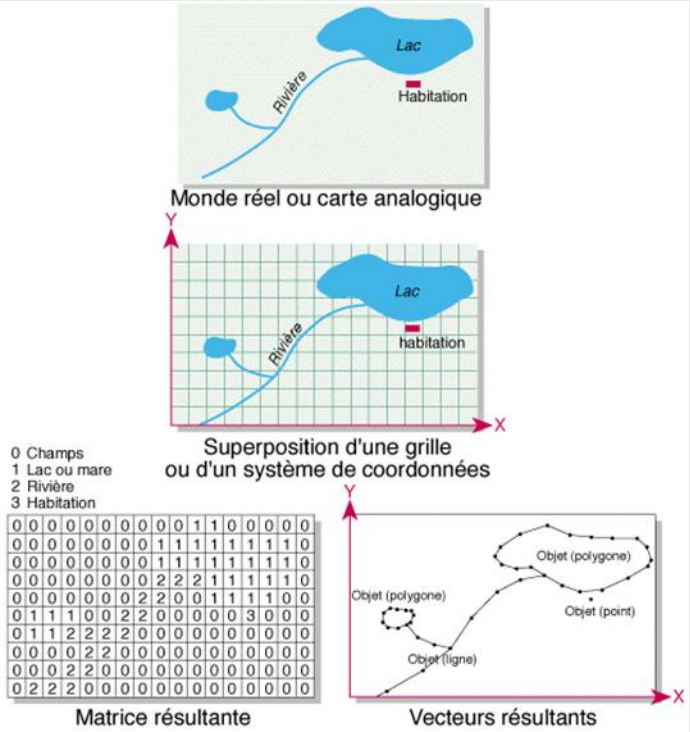
Les données géographiques représentent la composante spatiale des données descriptives.

Dans le cas de données pédologiques, ce sont par exemple la localisation, sur le territoire couvert par l'étude, des profils et sondages effectués, ou encore, la localisation et la forme des unités cartographiques déterminées sur cette étude. Les données géographiques peuvent se présenter sous deux formats distincts appelés *raster* et *vecteur*, chacun avec leurs spécificités (voir encadré).

Éclairage

Données géographiques en mode raster ou vecteur ?

Il existe essentiellement deux modes de représentation des données spatiales : le mode raster et le mode vecteur.



LES DEUX MODES DE REPRESENTATION DES DONNEES SPATIALES : LE MODE RASTER ET LE MODE VECTEUR (© MARIUS THERIAUL, UNIVERSITE DE LAVAL, CANADA)

- Le *mode raster* est une méthode de représentation d'un phénomène géographique par un champ de valeurs (structuré en une grille de cellules régulières). Ce mode est utile surtout pour des phénomènes dont la variation sur une zone est continue, tels que l'altitude ou la direction du vent, ainsi qu'en imagerie telles que la photographie et la télédétection. Il peut toutefois aussi servir pour des entités discrètes telles que les bâtiments, les rivières, les routes, les limites d'unités cartographiques de sol ou de parcelles (moyennant une perte de résolution).

- Le *mode vecteur* est une méthode de représentation d'un phénomène géographique par des objets (structurés en points, lignes, polygones ou leur composition). Ce mode est utile pour modéliser des entités discrètes telles que les fosses pédologiques, les points de captage, les bâtiments, les rivières, les routes, les limites d'unités cartographiques de sol ou de parcelles, etc.

4.4. Sources des bases de données

Quelques sources de données numériques parmi les plus utilisées

Le tableau en pages suivantes n'est pas un inventaire exhaustif. Il propose quelques sources de données numériques parmi les plus couramment utilisées. Ces sources sont regroupées par grands ensembles thématiques.

Des offres en données variables selon les territoires

En fonction des territoires, l'offre en données et surtout les conditions d'accès peuvent être très variables. Les services d'information cartographiques des collectivités territoriales (Région ou Département), des DIREN ou des Agences de l'Eau sont dans de nombreux cas détenteurs d'une information précieuse sur l'existence et la disponibilité de données sur leur territoire.

Internet propose également de multiples services cartographiques qui, outre la consultation de données géographiques standards, offre la possibilité de projeter et cartographier ses propres données.

Au niveau mondial

Au niveau Mondial : Google earth (http://earth.google.com/)

Pour la France

- Le géoportail (http://www.geoportail.fr/)
- Le portail eaufrance sur la normalisation et les données de références sur l'eau (http://sandre.eaufrance.fr/)
- Le site Observatoire des territoires de la DIACT (Délégation Interministérielle à l'Aménagement et à la Compétitivité des Territoires) (http://www.territoires.gouv.fr/)
- Le site INDIQUASOL : Base de Données Indicateurs de la Qualité des Sols (http://www.gissol.fr/)

Dans le cadre du Gis Sol, l'INRA d'Orléans et l'IFEN ont déterminé des indicateurs environnementaux sur la base de la maille 16km x 16km du Réseau de Mesures de la Qualité des Sols (RMQS). Plus d'une centaine d'indicateurs et composants d'indicateurs sont définis et regroupés en trois types :

- indicateurs de pression tels que la densité du réseau routier, la population, le nombre d'Unité Gros Bétail ;
- indicateurs d'état comme la teneur en carbone dans les sols, la texture des sols, la surface drainée ;
- indicateurs de réponse tels que le nombre de stations de mesure de produits phytosanitaires, l'état d'avancement du RMQS.

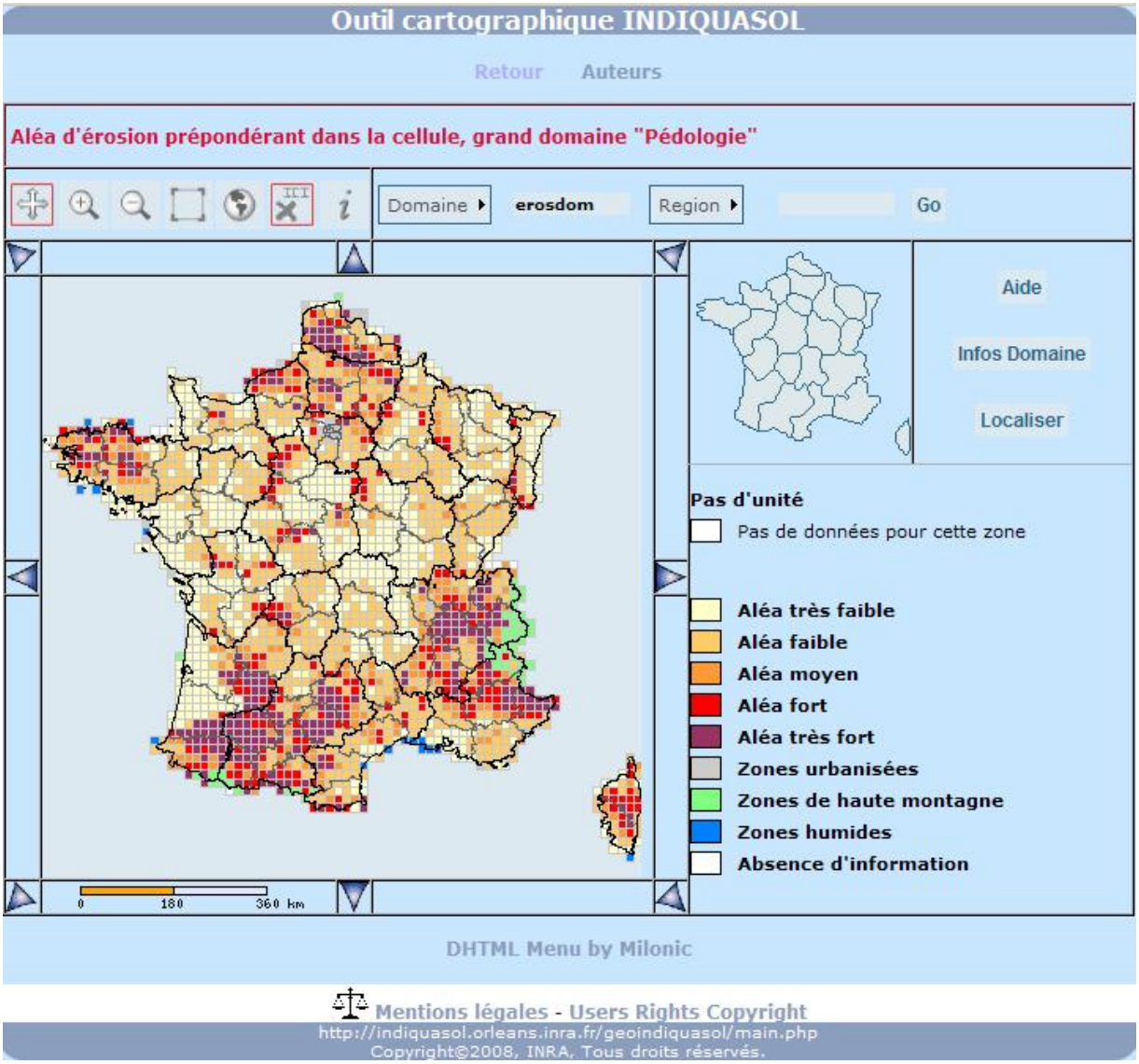
Les indicateurs ainsi obtenus sont cartographiés sur la totalité du territoire français. L'ensemble des cartes est regroupé au sein d'une application interactive qui permet la visualisation d'objets géographiques dans un navigateur Internet.

Dans les régions

Dans les régions des portails cartographiques existent avec des niveaux de disponibilités des données et conditions d'accès variables. La situation évolue rapidement, la liste ci-dessous n'est qu'un aperçu.

- Alsace : Coopération pour l'information géographique en Alsace CIGAL (http://www.cigal.fr)

- Alsace, Conseil général du Haut-Rhin (http://www.infogeo68.fr)
- Bretagne (http://cartographie.bretagne-environnement.org/)
- Ile-de-France (http://www.ile-de-france.environnement.gouv.fr/)
- Nord Pas de Calais : Sigale (http://www.sigale.nordpasdecalais.fr)
- PACA : Centre régional de l'information géographique en Provence Alpes Côtes d'Azur (http://www.crige-paca.org/)
- Poitou-Charentes : Site observatoire régional de l'environnement (http://sigore.observatoire-environnement.org/)
- Poitou-Charentes : Centre de ressources en information territoriale IAAT (http://www.iaat.org/).



EXEMPLE D'OFFRE EN DONNEES : ALEA D'EROSION PREPONDERANT DANS CHAQUE CELLULE (16 KM X 16 KM) DU RESEAU DE MESURES DE LA QUALITE DES SOLS (RMQS)
INDICATEUR ENVIRONNEMENTAL PROPOSE EN LIGNE SUR LE SITE INDIQUASOL DU GIS SOL : http://www.gissol.fr/

QUELQUES SOURCES DE DONNEES NUMERIQUES PARMI LES PLUS UTILISEES

Catégorie	*Source*	*Contenu*	*Echelle, résolution*	*Remarques*	*Disponibilité*
Topographie	Bases de données de l'IGN :				
	- BD CARTO®	Réseaux (routier, ferré, hydrographique, etc.), limites administratives, toponymes, équipements, etc.	1/50 000	Données vecteurs	Payant, IGN http://www.ign.fr
	- BD TOPO®	Composantes topographiques du Référentiel à Grande Echelle (RGE)	1/25 000 Résolution métrique	Données vecteurs	Payant, IGN http://www.ign.fr
	- BD ALTI®	Gamme de MNT Courbes de niveau	De 1/50 000 à 1/1 000 000	Données raster ou vecteur	Payant, IGN http://www.ign.fr Libre pour BDALTI au pas de 500 m ou 1000 m
	- SCANS 25®	Scans des cartes au 1/25 000	1/25 000	Cartes scannées	Payant, IGN http://www.ign.fr
	MNT libres	Par exemple : SRTM3, couverture mondiale	Résolution de trois secondes d'arc (93 m à l'Équateur)	Données raster	Libre http://seamless.usgs.gov/
Hydrologie	Base de données de l'IGN : BD CARTHAGE	Réseau linéaire, zones hydrographiques, informations ponctuelles	1/50 000	Données vecteur	Payant, IGN http://www.ign.fr Libre sous condition http://sandre.eaufrance.fr
Géologie	Bases de données du BRGM : cartes géologiques de France	Formations géologiques, contours, éléments structuraux	1/50 000	Cartes scannée et données vecteur	Payant, BRGM http:/www.brgm.fr/ Consultation libre : http://infoterre.brgm.fr/
			1/250 000	Cartes scannées	
			1/1 000 000	Carte scannée	
Hydrogéologie	BD RHF	Référentiel Hydrogéologique Français	1/100 000	Données vecteur	Libre sous condition http://sandre.eaufrance.fr/
	Masse d'eau souterraine		1/100 000	Données vecteur	Libre sous condition http://sandre.eaufrance.fr/
	Base de données gérée par le BRGM	Remontées de nappe	Echelle départementale	Données raster	Libre http://www.inondationsnappes.fr

QUELQUES SOURCES DE DONNEES NUMERIQUES PARMI LES PLUS UTILISEES (SUITE)

Catégorie	*Source*	*Contenu*	*Echelle, résolution*	*Remarques*	*Disponibilité*
Occupation du sol	Bases de données de l'IGN :				
	- BD ORTHO®	Photographies aériennes	Résolution de 50 cm	Données raster, MAJ tous les 5 ans	Payant, IGN http://www.ign.fr Consultation libre : http://www.geoportail.fr/
	- BD PARCELLE®	Parcelles cadastrales			Payant, IGN http://www.ign.fr
	Corine Land Cover	Inventaire biophysique de l'occupation des terres	1/100 000	Données vecteur et données raster	Libre http://image2000.jrc.it/
	Images satellitaires :				
	- MODIS	Scènes de 2330 km x 10 km	Résolution de 250 à 1 000 m	Données raster Nécessitent des compétences en traitement d'image	Gratuit http://modis.gsfc.nasa.gov/
	- Landsat		Résolution de 15 à 60 m		Payant http://www.landsat.org/ http://landsat.gsfc.nasa.gov/
	- Spot	Scènes de 60 x 60 km	Résolution de 2,5 à 20 m		Payant http://www.spotimage.fr/
	Base de données Inventaire Forestier National (IFN)	Types de formations végétales	Echelle communale	Données vecteur	Payant, IFN http://www.ifn.fr/
Pratiques agricoles	RGA	Recensements agricoles 2000, 1988, 1979	Echelle communale	Tableaux	Libre à payant. Consulter votre DRAF et SCEES, Agreste
	Données PAC	Statistiques annuelles sur les cultures	Echelle communale	Tableaux	Libre à payant. Consulter votre DRAF et SCEES, Agreste
	TERUTI - LUCAS	Statistiques pluriannuelles sur l'occupation du sol	Régions agricoles	Tableaux	Sous conditions SCEES, Agreste
Climat	Bases de données climatiques METEO FRANCE	Données par poste météo ou données spatialisées avec méthode AURELHY	maille km²	Données raster	Payant Abonnement, Météo-France
	Base de données libres	Températures min et max, précipitations (statistiques de 1950 à 2000)	maille km²	Données raster	Libre www.worldclim.org

QUELQUES SOURCES DE DONNEES NUMERIQUES PARMI LES PLUS UTILISEES (FIN)

Catégorie	*Source*	*Contenu*	*Echelle, résolution*	*Remarques*	*Disponibilité*
Localisation	BD CARTHO®, SCANS départementaux, régionaux, route 500 de l'IGN, BD NYME	Tous éléments d'habillage de cartes	De la parcelle à la région	Cartes scannées et données vecteur	Payant, IGN http://www.ign.fr
Pédologie	REFERSOL	Répertoire national des études de sols	1/10 000 à 1/1 000 000		En construction http://www.gissol.fr
	IGCS	Secteurs de Référence	1/10 000 à 1/25 000	Données vecteur	Disponibilité variable selon les régions. En général, consultation libre Gis Sol http://www.gissol.fr ou sites des acteurs régionaux (cf. ci-dessous)
		Connaissance Pédologique de la France	1/25 000 à 1/100 000		
		Référentiels Régionaux Pédologiques	1/250 000		
	BDGSF	Base de Données Géographique des Sols de France	1/1 000 000	Données vecteur	Payant, http://www.gissol.fr
	BDAT	Base de Données des Analyses de Terres	Statistiques par canton sur 3 périodes 1990-1994 1995-1999 2000-2004 (en construction)		Gratuit http://www.gissol.fr

Les sites des partenaires régionaux du programme IGCS :
Bretagne : http://www.sols-de-bretagne.fr
Bourgogne : http://igcs-stb.org/
Languedoc-Roussillon : http://www.umr-lisah.fr/BdSolLR/Asp/Default.asp
Midi-Pyrénées : http://www.midipyrenees.chambagri.fr/-Carte-des-sols-.html
Pays de la Loire : http://www.igcs-pays-de-la-loire.inh.fr/
Poitou-Charentes : http://www.sir-poitou-charentes.org/
Rhône-Alpes : http://www.rhone-alpes.chambagri.fr/sira/
Guyane, Martinique, Nouvelle-Calédonie, Wallis et Futuna : http://www.mpl.ird.fr/valpedo/

Lexique

- **adsorption** : fixation réversible d'ions ou de molécules de la solution du sol à la surface de constituants solides du sol, par différents mécanismes. Pour les ions, cette fixation est due à des phénomènes d'attraction électrostatique ou de complexation ; pour les molécules non ionisées, elle est due à des liaisons hydrogène ou des interactions hydrophobes.

- **agrosystème (ou agroécosystème)** : système généré par l'activité agricole, défini par les interactions entre les organismes vivants (peuplements végétaux, microorganismes, micro- et macrofaune) et leur environnement physique (sol, climat), sous l'influence des techniques culturales.

- **aptitudes culturales du sol** : ensemble des caractéristiques d'un sol qui se traduisent par les potentiels de production, les coûts et la faisabilité d'un système de culture.

- **base de données** : ensemble de fichiers liés et organisés en vue de faciliter l'exploitation d'informations constituant elles-mêmes un ensemble logique.

- **bases de données relationnelles** : méthode de structuration des données sous forme de collections de tables associées entre elles de façon logique par des attributs communs.

- **base de données géographique** (BDG) : base de données incluant des informations sur la localisation et la forme d'objets géographiques.

- **bassin d'alimentation de captage** : ensemble des terrains cultivés ou non alimentant un aquifère récepteur (bassin d'influence).

- **bassin versant** : un **bassin versant** ou **bassin hydrographique** est une portion de territoire délimitée par des lignes de crête, dont les eaux alimentent un exutoire commun : cours d'eau ou lac. La ligne séparant deux bassins versants adjacents est une ligne de partage des eaux. Chaque bassin versant se subdivise en un certain nombre de bassins élémentaires correspondant à la surface d'alimentation des affluents se jetant dans le cours d'eau principal.

- **battance** : désagrégation puis tassement de la terre sous l'action de l'eau de pluie ou de l'irrigation qui, par sédimentation du limon et du sable fin, forment une croûte superficielle et continue à la surface du sol. Phénomène apparaissant surtout dans les sols riches en limons et pauvres en argiles, en matière organique et en calcium.

- **bilan hydrique :** Le bilan hydrique est établi pour un site et une période donnés par comparaison entre les apports et les pertes en eau en ce site et pour cette période. Il tient aussi compte de la constitution de réserves et des prélèvements ultérieurs dans ces réserves.

- **couverture pédologique** : couche continue formée par les sols existants dans un territoire donné.

- **dénitrification** : la dénitrification biologique est un processus anaérobie, essentiellement assuré par des bactéries, qui transforme les nitrates en gaz (N_2, N_2O). Elle s'opère dans les zones « saturées » en eau et est donc fonction de l'état d'humidité et d'aération du sol. La dénitrification est un mode de respiration anaérobie dans lequel les nitrates ou leurs dérivés se substituent à l'oxygène et contribuent à l'oxydation de la matière organique. Cette réaction est très importante en écologie et en agriculture, dans le cadre d'une lutte naturelle contre la pollution par les nitrates de la nappe phréatique, ainsi que dans le domaine du traitement des eaux usées.

  La réaction de dénitrification peut ne pas être totale et libérer préférentiellement du N_2O, gaz à effet de serre. Dans certains cas la dénitrification apparaît comme un transfert de pollution de l'eau du sol ou des nappes vers l'atmosphère. Le meilleur moyen de préserver les aquifères de la pollution azotée reste encore de raisonner

la gestion de l'azote au plus près des besoins des cultures pour limiter les excès.

- **densité apparente** : rapport du poids au volume d'un échantillon de sol sec non perturbé (séchage à 105°C, pendant 48h).

- **désorption** : phénomène inverse de l'adsorption, se traduisant par le passage en solution d'ions ou de molécules initialement adsorbées.

- **données raster** : méthode de représentation d'un phénomène géographique par un champ de valeurs (structuré en une grille de cellules régulières). Utile surtout pour des phénomènes dont la variation sur une zone est continue, tels que l'altitude ou la direction du vent, ainsi qu'en imagerie telles que la photographie et la télédétection. Peut toutefois aussi servir pour des entités discrètes telles que les bâtiments, les routes ou le parcellaire (moyennant perte de résolution).

- **données vecteur** : méthode de représentation d'un phénomène géographique par des objets (structurés en points, lignes, polygones ou leur composition). Utile pour modéliser des entités discrètes telles que les bâtiments, les canalisations, les limites de parcelles ou d'unités cartographiques de sol.

- **drainage naturel** (**percolation** de l'eau) : processus de transfert en profondeur de l'eau libre du sol. L'intensité du drainage, sur une station donnée, dépend du contexte pédoclimatique local.

- **drainage agricole** : aménagement agricole permettant l'élimination de l'eau en excès dans un sol par création d'un réseau de canalisation ou drains, à ciel ouvert ou par tuyaux enterrés dans le sol (Lozet et Mathieu, 1997 ; modifié).

- **eau percolée (lame drainante)** : Quantité d'eau quittant la zone d'enracinement maximale des cultures et amenée à rejoindre le système aquifère sous-jacent. Cette quantité est exprimée en hauteur d'eau (mm). Il est indispensable de préciser à quelle profondeur du sol ou/et pour quelle réservoir en eau du sol (RUM) cette quantité d'eau est mesurée ou estimée.

- **échelle** : rapport entre une distance sur la carte et la distance correspondante sur le terrain. On distingue les « grandes » échelles (≤ 1/25 000), les moyennes (1/25 000 à 1/100 000) et les petites (≥ 1/250 000).

  Attention : il existe un lien étroit entre échelle et résolution. Ce lien est généralement implicite sur une carte. En revanche, la notion d'échelle ne s'applique pas à une base de données géographique à laquelle il faut appliquer la notion de résolution. La résolution d'une base de données géographique détermine ses usages acceptables, comme par exemple la gamme d'échelles acceptables pour ses représentations cartographiques. Pour une base de données géographique on peut tolérer à la rigueur le terme d'« échelle nominale » comme moyen pour rétablir ce lien implicite avec sa résolution.

- **érosion :** processus de détachement et de transport de matières solides. Il se traduit par un bilan d'exportation de matière par unité de surface. L'érosion hydrique peut être diffuse ou concentrée.

- **évapotranspiration potentielle** (ETP) **:** Il s'agit d'une estimation de la quantité maximale d'eau perdue sous forme de vapeur d'eau par un couvert végétal et le sol. Cette valeur de référence est calculée pour un couvert végétal bas, continu et homogène dont l'alimentation en eau n'est pas limitante et qui n'est soumis à aucune limitation d'ordre nutritionnel, physiologique ou pathologique. L'évapotranspiration potentielle ne dépend donc que des conditions météorologiques observées. Elle est exprimée en millimètre par jour (mm/j).

- **fonctions de pédotransfert** : relations statistiques permettant de relier des caractéristiques assez facilement déterminées en routine sur des échantillons de sol (et de ce fait plus aisément cartographiables) à des propriétés ou des comportements beaucoup plus difficiles à mesurer directement en de nombreux points (déterminations lourdes et coûteuses).

  Les fonctions de pédotransfert ont été initialement employées pour estimer les quantités d'eau retenues dans le sol à certains points caractéristiques d'humidité

(point de flétrissement, capacité au champ), à partir de déterminations simples comme les données granulométriques, les teneurs en carbone, la CEC, le volume massique, etc. Elles sont fréquemment utilisées pour estimer d'autres variables (Baize, 2004).

- **géomatique** : discipline ayant pour objet la gestion des données à référence spatiale et qui fait appel aux sciences et aux technologies reliées à leur acquisition, leur stockage, leur traitement et leur diffusion (Bergeron, 1993). Intègre : la géodésie, la topographie, la photogrammétrie, la télédétection, la cartographie, le positionnement, le système global de positionnement (GPS) et la navigation.

- **géomorphologie** : étude des formes du relief et des processus qui créent ou modifient ces formes. Trois approches sont distinguées en géomorphologie : la géomorphologie structurale qui traite de l'influence de la structure géologique sur le relief, la géomorphologie dynamique qui regroupe l'ensemble des processus géomorphologiques, et la géomorphologie climatique (ou zonale), qui étudie les reliefs et les processus en fonction des climats.

- **horizon** : couche de sol plus ou moins parallèle à la surface du sol, d'aspect relativement homogène par la nature et l'organisation de ses constituants (couleur, texture, structure, effervescence, etc.) différenciée selon l'évolution du sol et/ou selon la nature des dépôts géologiques.

- **humidité à la capacité au champ** : teneur en eau maximale du sol non mobilisable par la seule force de gravité. Pour déterminer cette teneur, l'horizon étudié doit préalablement connaître un excès d'eau suivi d'un ressuyage vertical avec drainage libre. Cette valeur ne peut donc être déterminée que sur le sol en place, en hiver ou au printemps (Baize, 2004).

- **humidité au point de flétrissement (permanent)** : teneur en eau que contient le sol, en-dessous de laquelle intervient un flétrissement permanent de la plupart des plantes cultivées qui y sont enracinées.

- **hydromorphie** : résultat de la saturation temporaire ou permanente de la porosité du sol par une eau peu renouvelée et donc peu ou pas oxygénée. L'hydromorphie se traduit par une coloration particulière des horizons concernés, due à des conditions réductrices temporaires (taches rouille et blanchâtre) ou permanentes (gris bleu verdâtre).

- **indicateur** : information quantitative, synthétique, caractérisant un phénomène (processus, situation, progrès) souvent complexe, mobilisable à des fins de diagnostic, d'aide à la décision, d'évaluation et/ou de communication. (d'après http://www.ifen.fr/)

- **itinéraire technique** : correspond à l'ensemble des opérations techniques mises en œuvre sur une culture depuis la récolte du précédent jusqu'à la récolte de cette culture. L'enchaînement de ces opérations découle de règles de décision, définies par l'agriculteur.

- **justesse, exactitude** : degré de conformité d'une valeur mesurée ou calculée à sa vraie valeur.

- **lessivage** : processus pédologique de transfert en profondeur de particules fines du sol (argiles). Par abus de langage, ce terme est couramment employé pour la lixiviation des nitrates.

- **lixiviation** : transfert en profondeur des éléments minéraux dissous sous l'action de la percolation de l'eau (nitrates, bicarbonates, sulfates, chlorures). Contrairement à l'azote ammoniacal (NH_4^+) retenu par le complexe adsorbant, l'ion nitrate est facilement entraîné, car très soluble dans l'eau. Elle conduit à l'exportation des ces éléments du sol vers une nappe d'eau souterraine. Improprement appelée lessivage.

- **logiciel système d'information géographique** : un logiciel SIG est l'un des composants d'un SIG. C'est un ensemble de méthodes et d'outils informatiques permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, de combiner, d'analyser, d'élaborer et de présenter des informations dont la principale caractéristique est d'être localisées géographiquement. Ces informations sont regroupées au sein d'une base de

données géographique (BDG). Parmi les autres logiciels typiques d'un ensemble de moyens composant un SIG, on peut citer les logiciels de traitement d'images télé détectées, qui sont d'importants fournisseurs d'information géographique, les logiciels d'analyse spatiale statistique et géostatistique, ainsi que les logiciels de gestion de bases de données (SGBD).

- **matériau parental** : matériau dur ou meuble à partir duquel s'est formé le sol.

- **métadonnées** : une métadonnée (du grec *meta* "après" et du latin *data* "informations") est une donnée servant à définir ou décrire une autre donnée quel que soit son support (papier ou électronique).

- **milieu** : en agronomie, le terme « milieu » désigne le regroupement de différents éléments dont le sol, la topographie (pente, etc.), le climat, l'hydrographie (cours d'eau, lacs, etc.). Exemple : milieu 1 = croisement « sol » x « relief » x « climat ».

- **minéralisation** : transformation de l'azote organique en azote ammoniacal (NH_4^+) sous l'action des micro-organismes pour assurer leur besoin de croissance. Par abus de langage, on utilise souvent ce terme pour désigner à la fois les processus de minéralisation et nitrification.

- **pédopaysage :** ensemble de plages cartographiques semblables par les caractéristiques de la couverture pédologique et des éléments paysagiques. Un pédopaysage est ainsi constitué d'unités typologiques de sol (UTS) regroupées sur des éléments paysagiques tels que la géomorphologie, l'hydrologie, le matériau parental, le substrat et éventuellement l'occupation du sol.

- **pixel, cellule, maille** : élément d'un jeu de données raster. La position géographique d'un pixel se déduit des coordonnées des extrêmes du raster et de son numéro de ligne et de colonne.

- **plage cartographique (ou polygone)** : portion d'une carte représentant la même information de façon continue.

- **porosité** : volume des vides du sol (s'exprime en % du volume total).

- **pouvoir épurateur du sol** : capacité du sol à retenir et/ou recycler les composants organiques et les éléments minéraux apportés par des déchets, sans transfert de pollution vers les eaux, l'air ou les cultures.

- **pratiques agricoles** : manière de produire intégrant les itinéraires techniques et les systèmes de cultures.

- **précision** : degré de répétitivité ou de reproductibilité de la mesure ou du calcul d'une valeur.

- **profondeur d'enracinement maximale** : profondeur limite exploitable par les racines (à moduler donc selon l'espèce végétale considérée) en un site déterminé Sert à estimer le réservoir utilisable maximal d'un sol (Baize, 2004 ; modifiée).

- **profondeur utilisable maximale** : profondeur d'enracinement maximale estimée de façon générale, c'est-à-dire pour toutes les plantes cultivées ou toutes les essences forestières, en vue de caractériser un sol. On est donc réduit à juger de la profondeur du sol jusqu'à l'apparition d'un obstacle ou du matériau parental intact non prospectable (Baize, 2004). Peut également servir à estimer le réservoir utilisable maximal d'un sol de façon générale.

- **qualité** : la qualité des données en informatique se réfère à la conformité des données aux usages prévus (Juran, 1989).

- **recommandations techniques** : interprétation des références permettant aux prescripteurs ou animateurs locaux de délivrer un conseil. Les recommandations peuvent évoluer dans le temps grâce à la prise en compte de nouvelles références.

- **référence agronomique** : résultat décrivant le fonctionnement de tout ou partie d'un agrosystème, assorti de son domaine de validité et de représentativité (conditions de climat, sol et système de culture). Ces références peuvent être obtenues par des observations morphologiques, des analyses de terre,

des mesures *in situ*, des résultats d'enquêtes et des résultats d'expérimentations ou de simulations.

- **référence pédologique** : information objective qu'il est possible de collecter sur la nature et le fonctionnement d'une unité typologique de sol.

- **référentiel pédologique** : il s'agit d'une typologie, d'un système de référence, qui fait le point de tout ce que l'on sait, à ce jour, sur les sols d'un territoire donné.

- **règles de pédotransfert** : même principe que les fonctions de pédotransfert mais les relations statistiques sont dans ce cas moins purement mathématiques et plus définies en termes de « système expert » (Baize, 2004).

- **réservoir utilisable maximal (RUM)** d'un sol : volume maximal de porosité susceptible de contenir de l'eau accessible aux plantes, estimé pour un horizon, un profil ou une unité typologique de sol. Ce volume de porosité est une caractéristique relativement permanente au cours du temps. Ne pas confondre avec la « réserve utile », qui est la quantité d'eau se trouvant à un moment donné dans le réservoir, et qui varie au cours du temps (Baize, 2004). Le RUM s'exprime le plus souvent en hauteur d'eau (mm), ce qui permet sa relation avec la pluviométrie.

- **résolution** : plus petite variation d'une valeur qui puisse être détectée ou représentée. Indication de la précision d'un type d'information recueillie sur un territoire, évaluée en divisant le nombre d'informations disponibles par la surface du territoire concerné. Voir aussi échelle.

- **risque** : « combinaison, d'une part, de la probabilité qu'un événement défavorable se produise - ou aléa – et, d'autre part, de la gravité de ses conséquences – ou enjeux » (Commission Européenne).

- **ruissellement** : *ruissellement de surface* : écoulement de l'eau à la surface du sol sous l'effet de la pente ; *ruissellement hypodermique* : écoulement rapide de l'eau du sol à faible profondeur (20 à 60 cm) sur un horizon plus ou moins imperméable, tel une semelle de labour.

- **solutions techniques** : préconisations agricoles.

- **sondage tarière** (raccourci pour « **sondage à la tarière** ») : extraction et observation ponctuelle d'un volume cylindrique de sol à l'aide d'une tarière manuelle. En l'absence d'obstacle (cailloux, substrat rocheux, etc.), le prélèvement est effectué verticalement sur 120 cm de profondeur et environ 5 cm de diamètre.

  Par sa simplicité de mise en œuvre, le sondage tarière est l'outil privilégié d'observation du sol. L'échantillon ainsi prélevé permet d'observer les variations de plusieurs caractéristiques du sol (couleur, texture, teneur en calcaire, humidité, etc.). Certains critères morphologiques des sols ne sont pas appréhendés correctement à la tarière (structure, pierrosité, variabilité très locale).

- **strate :** description de la variabilité dans l'espace d'un horizon ou d'un regroupement de plusieurs horizons de sol (lorsque ceux-ci présentent entre eux des variations très faibles de leurs caractéristiques).

- **structure :** mode d'arrangement naturel et durable des particules élémentaires du sol (sables, limons, argiles, matières organiques) formant ou non des agrégats élémentaires. La structure est caractérisée par la forme, la taille, la netteté des agrégats et les vides qui les séparent. Ces paramètres déterminent la porosité et donc l'aération et les transferts dans le sol.

- **substrat** : roche sous-jacente dont on pense qu'elle n'est pas le matériau parental du sol étudié (Baize, 2004).

- **système de culture** : un système de culture est défini sur une parcelle par la succession des cultures et l'ensemble des opérations culturales (itinéraires techniques) et/ou des pratiques de pâturage qui lui sont appliqués.

- **système de gestion de bases de données** (SGBD) : ensemble de programmes informatiques permettant d'organiser les informations d'une base de données. Un SGBD prend en charge la

structuration de la base de données sous un format standard et fournit des outils de gestion des données (saisie, vérification, archivage, récupération, requête et manipulation).

- **système de gestion de bases de données relationnelles** (SGBD-R) : système de gestion de bases de données ayant la capacité d'accéder à des données organisées dans des tables qui peuvent être associées entre elles à l'aide d'un champ commun. Un SGBDR peut réorganiser les éléments issus de différentes tables pour les présenter sous forme de vues, différentes et multiples, sans que la base ne soit modifiée.

- **système d'information géographique** (SIG) : ensemble organisé rassemblant matériel et logiciels informatiques, données géographiques, techniciens et compétences en vue d'optimiser la gestion (capture, stockage, mise à jour, manipulation, analyse et affichage) de toutes les formes d'informations référencées selon des critères géographiques pour contribuer notamment à la gestion de l'espace. Voir aussi logiciel système d'information géographique

- **tarière :** instrument métallique enfoncé verticalement dans le sol permettant d'opérer des prélèvements et de faire des observations sur des petites carottes (Baize, 2004).

- **texture** : appréciation tactile des propriétés mécaniques d'un matériau pédologique permettant d'estimer sa composition granulométrique en l'absence d'analyses (Baize, 2004 ; modifiée).

- **topographie** : a pour but de décrire graphiquement sur un plan toutes les parties qui composent la surface d'un terrain. Cette description, pour être complète, doit donner l'étendue du terrain, la position relative des différentes parties et leur relief.

- **transect :** série d'observations de sondages pédologiques ou de fosses organisés selon une ligne droite et espacés plus ou moins régulièrement. Dans le cas d'étude d'un versant, le transect est généralement orienté selon la plus grande pente (Baize, 2004).

- **typologie de sols** : un inventaire ou répertoire des types de sols présents sur une portion d'espace donnée.

- **unité cartographique de sol (UCS)** : regroupement d'une ou plusieurs unités typologiques de sol (UTS) de façon à pouvoir en faire une représentation cartographique à une échelle choisie. On considère qu'une UCS est simple lorsqu'elle est constituée d'une seule UTS ; on la définit comme complexe lorsqu'elle en contient plusieurs (Lozet et Mathieu, 1997). Pour les échelles moyennes et petites (1/50 000 à 1/250 000), les notions de pédopaysage et d'UCS sont souvent équivalentes.

- **unité typologique de sol (UTS) :** portion de la couverture pédologique constituée par la superposition de strates aux caractéristiques bien définies et présentant une certaine extension spatiale. Sa définition repose sur le rattachement à une taxonomie de type classification ou référentiel de sols (Jamagne *et al.*, 1993).

  Les différentes unités typologiques, appelées aussi « types de sols », sont définies avec un plus ou moins grand degré de détail à partir de l'ensemble des observations et mesures faites sur le terrain ou au laboratoire (Baize et King, 1992).

- **zonage** : le terme « zonage » correspond à un document cartographique réalisé selon des normes moins exigeantes et avec des moyens plus limités qu'une carte des sols « classique » (peu de sondages et d'analyses, pas d'ouverture de fosses pédologique, etc.). Il peut correspondre à une estimation de la superficie des différents types de sols, permettant ainsi des estimations de risques à l'échelle du territoire. Exemple : cartographie des « zones humides » dans les opérations de drainage des parcelles.

Pour en savoir plus…

- **Baize D. (2004)** - *Petit lexique de pédologie*. Éditions INRA, 270 p.
- **Baize D. et King D. (1992)** - *La modélisation spatiale des couvertures pédologiques « carte papier » et S.I.G*, pp. 17-29, *in :* Buche P., King D., Lardon S. (Eds), Gestion de l'espace rural et système d'information géographique, INRA, Versaille (France). Actes du séminaire, Florac (France), 22-24/10/1991.
- **Bergeron M. (1993)** - *Vocabulaire de la géomatique*. Collection terminologie technique et industrielle, Cahiers de l'Office de la langue française. Éditions Office de la langue française, Québec, 41 p.
- **Lozet J. et Mathieu C. (1997)** - *Dictionnaire de Science du Sol, 3ème édition*. Éditions Lavoisier, 488 p.
- **Jamagne M., King D., Girard M.C. et Hardy R. (1993)** - Quelques conceptions actuelles sur l'analyse spatiale en pédologie. *Science du Sol*, Vol. 31, 3, p. 141-169.
- **Juran J.M. (1989)** - *Planifier la qualité*. Editions AFNOR, 314 p.

Guide réalisé dans le cadre du
« Groupement d'Intérêt Scientifique sur les sols » (Gis Sol),
avec le soutien de :

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA PÊCHE

AGRO CAMPUS OUEST

ARAA
Association pour la Relance Agronomique en Alsace

CHAMBRE D'AGRICULTURE POITOU CHARENTES

LaSalle BEAUVAIS
IGAL - ISAB

INRA