



HAL
open science

TYPTERRES : Vers une typologie agronomique partagée

Bertrand Laroche, Francesca Degan, Rémi Koller, Olivier Scheurer, Alain Bouthier, Joël Moulin, Joëlle Sauter, Christophe Ducommun, Jean Luc Fort, Sophie Maillant, et al.

► **To cite this version:**

Bertrand Laroche, Francesca Degan, Rémi Koller, Olivier Scheurer, Alain Bouthier, et al.. TYPTERRES : Vers une typologie agronomique partagée. *Étude et Gestion des Sols*, 2020, 27 (1), pp.241-255. hal-03773394

HAL Id: hal-03773394

<https://hal.inrae.fr/hal-03773394>

Submitted on 9 Sep 2022

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

TYPTERRES : Vers une typologie agronomique partagée

B. Laroche^(1*), F. Degan⁽²⁾, R. Koller⁽³⁾, O. Scheurer⁽⁴⁾, A. Bouthier⁽⁵⁾, J. Moulin⁽⁶⁾,
J. Sauter⁽⁷⁾, C. Ducommun⁽⁸⁾, J.-L. Fort⁽⁹⁾, S. Maillant⁽⁷⁾, J.-P. Party⁽¹⁰⁾, C. Renouard⁽¹¹⁾,
N.P.A. Saby⁽¹⁾ et B. Bertouy⁽¹⁾

- 1) InfoSol INRAE- Centre de recherche Val de Loire 2163 Avenue de la Pomme de Pin, CS 40001 ARDON, 45075 ORLEANS Cedex 2, France.
- 2) ARVALIS Institut du Végétal –SAEE – Station expérimentale 91720 Boigneville, France.
- 3) Association pour la Relance Agronomique en Alsace 2 Rue de Rome, 67300 Schiltigheim, France.
- 4) UniLasalle 19, rue Pierre Waguet - BP 30313 - 60026 BEAUVAIS, France.
- 5) ARVALIS Institut du Végétal Domaine expérimental du Magneraud, 17700 Saint-Pierre-d'Amilly, France.
- 6) Chambre d'Agriculture de l'Indre 24 Rue des Ingrains, 36000 Châteauroux, France.
- 7) Chambre Régionale d'Agriculture Grand-Est 9 rue de la Vologne, 54520 LAXOU et 2 Rue de Rome, 67300 Schiltigheim, France.
- 8) AGROCAMPUS OUEST 2 Rue André le Notre, 49000 Angers, France.
- 9) Chambre Régionale d'Agriculture Nouvelle Aquitaine 2133 Route de Chauvigny, 86550 Mignaloux-Beauvoir, France.
- 10) Sol Conseil 251 Route de la Wantzenau, 67000 Strasbourg, France.
- 11) Chambre d'Agriculture de la Vienne 2133 Route de Chauvigny, 86550 Mignaloux-Beauvoir, France.

* : Auteur correspondant : bertrand.laroche@inrae.fr

RÉSUMÉ

La cartographie des sols au 1/250 000 formalisée dans les Référentiels Pédologiques Régionaux (RRP) est en cours de finalisation sur l'ensemble du territoire métropolitain au travers du programme IGCS (Inventaire, Gestion et Conservation des Sols). Ce programme, conduit par le Groupement d'Intérêt Scientifique Sol (GIS Sol), constitue aujourd'hui une référence sur les territoires déjà couverts. Antérieurement et depuis de nombreuses années, les utilisateurs des données Sol pour l'agriculture ont construit des typologies agronomiques fonctionnelles des sols, à partir des données pédologiques disponibles et de leur expertise. Aujourd'hui l'objectif commun des producteurs des RRP est de valoriser les données acquises en produisant des typologies agronomiques améliorées en termes de représentativité, de précision et d'interopérabilité entre territoires. Ainsi, le projet TypTerres vise à construire à partir des RRP des typologies agronomiques des sols partagées, à des fins de diagnostic, d'évaluation, de conseil et d'action agronomiques et agro-environnementaux. Ces typologies constituées à l'échelle régionale ou départementale doivent conduire à terme à une typologie co-construite, harmonisée et partagée à l'échelle nationale. Une méthodologie générique pour construire ces typologies a été développée et testée sur 2 territoires ateliers, Centre-Ouest et Alsace, constitués respectivement par 4 et 2 départements. L'application de la méthode a défini 30 à 50 types agronomiques par département par agrégation de 140 à 380 types de sol initiaux dans les RRP. Chaque type agronomique est décrit par 36 variables. Ces dernières sont opérationnelles comme données d'entrée pour une diversité d'outils d'aide à la décision.

Mots-clés

Sol, Typologie, agronomie, utilisateur, aide à la décision.

Comment citer cet article :

Laroche B., Degan F., Koller R., Scheurer O., Bouthier A., Moulin J., Sauter J., Ducommun C., Fort J.-L., Maillant S., Party J.-P., Renouard C., Saby N.P.A., Bertouy B., 2020 - TYPTERRES : Vers une typologie agronomique partagée, *Etude et Gestion des Sols*, 27, 241-255

Comment télécharger cet article :

<https://www.afes.fr/publications/revue-etude-et-gestion-des-sols/volume-27/>

Comment consulter/télécharger tous les articles de la revue EGS :

<https://www.afes.fr/publications/revue-etude-et-gestion-des-sols/>

SUMMARY**TYPTERRRES, TOWARDS A COMMONLY ACCEPTED AGRONOMICAL TYPOLOGY**

The 1/250,000 soil mapping formalized in the Regional Soil Referentials (RRP) is currently being finalized for France through the IGCS (Inventory, Soil Management and Conservation) program led by the Soil Scientific Interest Group (GIS Sol). Such maps are now considered as a reference in the territories already covered. At the same time, and for many years, users of soil data for agriculture have built functional agronomic typologies of soils, based on available data and on their expertise. Today the common goal of map producers is to enhance the usefulness of their products by delivering improved agronomic typologies in terms of representativeness, precision and interoperability between territories. The latter aims to provide shared and common agronomic typologies based on soil data from the RRP for assessment, diagnostic and advice purposes to support proper management actions. These typologies developed at the regional or departmental scale need to "fit together" to eventually provide a harmonized, clear and shared typology at national scale. A generic methodology was developed and tested in 2 territories, Center-West and Alsace. The application of the method defined 30 to 50 agronomic soil types per department by aggregation of 140 to 380 initial soil types in the RRP. Each agronomic soil type is described by 36 variables. These are operational as input for a variety of decision support tools.

Key-words

Soil, typology, agronomy, user.

RESUMEN**TYPTERRRES: HACIA UNA TIPOLOGÍA AGRONÓMICA COMPARTIDA**

La cartografía de suelos al 1/250 000 formalizada en los Referenciales Regionales Pedológicos (RRP) está en curso de finalización sobre la totalidad del territorio metropolitano a través del programa IGCS (Inventario, Gestión y Conservación de Suelos). Este programa, dirigido por la Agrupación de Interés Científico Suelo (GIS Sol), constituye actualmente una referencia en los territorios ya cubiertos. Anteriormente y desde numerosos años, los usuarios de los datos Suelo para la agricultura construyeron tipologías agronómicas funcionales de suelos, a partir de datos pedológicos disponibles y de su pericia. Hoy el objetivo común de los productores de RRP es valorizar los datos adquiridos produciendo tipologías agronómicas mejoradas en términos de representatividad, de precisión y de interoperabilidad entre territorios. Así el proyecto TypTerres tiende a construir a partir de los RRP tipologías agronómicas de suelos compartidas, con fines de diagnóstico, de evaluación, de consejo y de acción agronómicos y agro-ambientales. Estas tipologías constituidas a escala regional o departamental deben llevar al final a una tipología co-construida, armonizada y compartida a escala nacional. Se desarrolló una metodología genética para construir estas tipologías y fue testada en 2 territorios talleres, Centro-Oeste y Alsacia constituidos respectivamente por 4 y 2 departamentos. La aplicación del método definió 30 a 50 tipos agronómicos por departamento por agregación de 140 a 380 tipos de suelo iniciales en los RRP. Se describe cada tipo agronómico por 36 variables. Estas últimas son operacionales como datos de entrada para una diversidad de herramientas de ayuda a la decisión.

Palabras clave

Suelos, tipología, agronomía, usuarios.

1. INTRODUCTION

La connaissance des sols est capitalisée dans de nombreuses régions françaises grâce au programme **Inventaire Gestion et Conservation des Sols (IGCS)** soutenu par le Groupement d'Intérêt Scientifique Sol. Les informations pédologiques sont structurées dans un même format national : DoneSol (Grolleau *et al.*, 2004). Elles sont organisées en trois volets selon l'échelle spatiale des données cartographiées (INRA, 2017). Parmi ces volets, les Référentiels Régionaux Pédologiques (RRP, Laroche *et al.*, 2014) au 1/250 000^e sont disponibles sur 92 % du territoire métropolitain. Les RRP constituent un inventaire de types de sols, organisé par région ou par département. En moyenne, 200 types de sol décrivent un département, avec des valeurs maximales autour de 400 types de sol. Chaque type de sol est caractérisé par un très grand nombre de variables pédologiques (environ 300).

La structuration et la richesse de ces bases représentent un grand potentiel pour les sciences du sol et également pour des nombreuses applications thématiques (Le Bas et Schnebelen, 2006; Moulin *et al.*, 2011). Cependant, la diffusion de ces informations à un ensemble plus large d'utilisateurs doit être renforcée (séminaire GIS SOL et RMT Sol&Territoires, 29/09/2016). En effet, autant de regards et de dénominations existent sur les sols que de groupes d'utilisateurs (CGAAER-CGEDD, 2015; séminaire GIS Relance Agronomique 17/10/2018). Dans ce contexte, pour les non-pédologues, l'identification des sols et l'exploitation des informations des bases de données régionales peuvent être très complexes.

Dans le domaine agricole, la connaissance et l'identification des sols cultivés et de leurs caractéristiques sont nécessaires au conseil technique. Ce dernier repose de plus en plus souvent sur des outils de conseil requérant des informations sol précises. C'est par exemple le cas de Azofert (Machet *et al.*, 2007; Damay et Collard, 2011) et Irre-Lis[®] utilisés respectivement pour l'aide au calcul d'une dose de fertilisant azoté et le pilotage de l'irrigation par bilan hydrique. Il en est de même pour des outils d'évaluation agro-environnementale (basés sur des indicateurs ou modèles-pour estimer des risques de transferts d'azote ou de produits phytosanitaires dans l'eau ou dans l'air ou des risques de ruissellement érosif, définir des aptitudes à l'épandage de Produits Résiduels Organiques, estimer les évolutions des stocks de carbone dans les sols) tels que Syst'N[®] (Dupas *et al.*, 2015) ou Simeos-AMC[®] (Andriulo *et al.*, 1999; Bouthier *et al.*, 2014). Plus généralement, cette connaissance des sols est nécessaire aux diagnostics agronomiques pour orienter les choix de conduite des systèmes de culture et à l'utilisation de simulateurs de fonctionnement des cultures (STICS, CHN) souvent mobilisés pour paramétrer les outils précédents. En 2011, il existait en France plus de 50 outils d'aide à la décision (OAD), d'évaluation agri-environnementale (OEAE) ou modèles requérant de nombreuses variables « sol » associées au type de sol considéré (Soudière et Sauter, 2011; Koller *et al.*, 2011). Lors de l'enquête menée par Soudière et Sauter (2011), sur 50 outils recensés, 67 % des

OAD et 76 % des OEAE possédaient leur propre liste de sols dans laquelle l'utilisateur devait choisir le sol correspondant à son cas (figure 1).

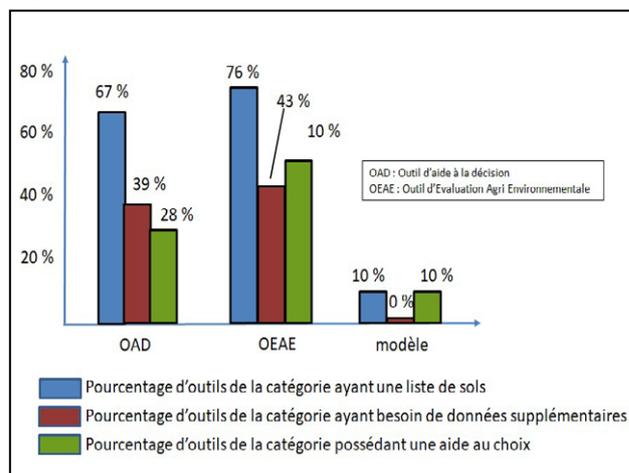
Lors des réunions d'échanges entre utilisateurs potentiels d'une telle typologie, un consensus est apparu pour estimer qu'une liste d'au plus 50 types de sol par département est un compromis acceptable entre précision et complexité pour permettre sa bonne appropriation par des non-pédologues. Par ailleurs, ce nombre réduit de types de sol est également requis par les agronomes et les prescripteurs pour organiser la production et la diffusion de références agronomiques en fonction de la diversité des sols d'un territoire (Ateliers du projet TypTerres; Gloria, 2017).

Pour répondre à différents besoins, des typologies agronomiques de sols très diverses ont été élaborées. Une majorité d'entre elles sont issues de travaux antérieurs à la mise en place des RRP, menés dans un objectif de synthèse et de formalisation de la connaissance des sols à l'usage des agronomes et des agriculteurs (Favrot *et al.*, 1998). Elles n'ont pas été orientées spécifiquement vers l'usage des OAD ou OEAE, peu développés à l'époque. On peut citer par exemple :

- Au niveau régional : en Nouvelle Aquitaine ex-Limousin (Logeais, 1993), en Grand Est (Jacquin *et al.*, 1988), en Normandie (Amiet, 1988), en Pays de la Loire (Lenfant *et al.*, 1989) et en Bourgogne-Franche-Comté (Bruckert et Gaiffe, 1985) et le projet TYP SOL, <http://solsdebourgogne.fr/>
- Au niveau départemental : sur le Doubs (Barneoud et François, 1996); sur l'Oise (Epinat *et al.*, 1997); sur le Nord (Schvartz, 1988); sur le Tarn (Delaunois *et al.*, 1995)
- Pour une région agricole en particulier : la Beauce (Alliot *et al.*, 1995); les plateaux de Bourgogne (Baize *et al.*, 1989); la Champagne Berrichonne (Moulin *et al.*, 1992); la zone de confluence du Lot et de la Garonne (Chéry *et al.*, 1999); les terres de Gâtine (Froger *et al.*, 1994)

Figure 1 : Type d'informations en fonction des outils (Soudière et Sauter 2011).

Figure 1 : Type of information as a function of the tools.



- Pour une petite région naturelle : Plaine Centre-alsace (Party *et al.*, 1994) ; les zones sableuses de Sarthe (Evrard 1990) ; région Centre (Studer, 1984).
- Pour un bassin d'alimentation de captage : projet Sol et eau Bassin versant du Pamproux : (Lopes *et al.*, 2011)

Plus récemment, des listes de sols dédiées à l'usage d'OAD ou OEAE sont apparues ; elles ont été élaborées, pour la plupart, à dire d'experts, en s'appuyant le plus souvent sur les typologies précédentes, par différents acteurs pour les besoins spécifiques de divers outils ou programmes d'action en fonction des thématiques traitées au fil du temps. C'est par exemple le cas des listes de sols proposées à partir de 2012 par les Groupes Régionaux d'Expertise Nitrates (GREN) pour le calcul de la dose prévisionnelle d'azote avec un nombre de sols souvent très limité.

Au niveau national, la Base-sol d'Arvalis (Bouthier, 2019) a été développée pour répondre à différents besoins : i) renseigner les propriétés des sols dans les modèles intégrés aux outils d'aide à la décision (exemple, calcul des doses d'azote) ; ii) gérer les informations pédologiques des sites expérimentaux ; iii) capitaliser les nouvelles données pédologiques acquises. Elle constitue un catalogue non spatialisé de 550 sols, répartis en sous-ensembles de 15 à 30 sols types par région administrative (22 régions antérieures à la réforme de 2015). Cette base, initiée en 2004 et opérationnelle depuis 2009, est interopérable avec l'ensemble des outils d'aide à la décision proposés par ARVALIS et permet également le référencement des sites expérimentaux. Les données sur les types de sols avec 5 critères pour leur détermination (classes de teneur en calcaire, en éléments grossiers, de texture de l'horizon de surface, de profondeur « blocage tarière », et d'hydromorphie) sont téléchargeables sur le site de API-AGRO (http://www.api-agro.fr/valorisations/choix_sols.html). Une vingtaine d'autres variables mesurées ou estimées sont disponibles sous convention.

Ces listes de sols à l'usage des OAD présentent souvent des faiblesses en termes d'exhaustivité ou de représentativité des données et la cohabitation de listes différentes sur un même territoire est source de confusion chez les utilisateurs finaux. De même, ces listes sont généralement liées à un territoire administratif donné, sans continuité avec le département voisin ou la région voisine. Certaines sont précises et sans doute suffisantes pour une application spécifique mais la plupart sont très sommaires et ne permettent pas une identification correcte des sols sur le terrain par les utilisateurs des outils, au détriment de la pertinence des résultats fournis par ces outils.

Pour pallier ces inconvénients, le travail décrit dans cet article propose une méthode de construction d'une typologie agronomique des sols appelée TypTerres, basée sur l'exploitation des RRP. En effet, les RRP : i) ont une structure homogène au niveau national et des références normalisées (format DoneSol) sont validées ; ii) possèdent une représentativité et une exhaustivité des données spatiales et sémantiques au niveau national. TypTerres vise à améliorer, enrichir ou cor-

riger les typologies préexistantes, ou à combler des lacunes régionales, là où un RRP est disponible (donc à terme sur l'ensemble du territoire national). Les typologies TypTerres visent ainsi à proposer un référentiel sol commun pour tous les concepteurs et diffuseurs d'outils, à faciliter le partage de références agronomiques entre acteurs d'une même région ou de régions voisines, et à améliorer la qualité du choix du type de sol par l'utilisateur en entrée des OAD ou OEAE. L'utilisation des informations contenues dans les RRP représente un atout en termes de représentativité des sols, de précision des informations et d'interopérabilité des résultats entre outils et territoires.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Deux projets pilotes ont été conduits entre 2015 et 2017 dans deux territoires-ateliers. Ils ont permis de construire et mettre à l'épreuve cette méthode sur les départements du Bas-Rhin et du Haut-Rhin (TypTerres Alsace) et de la Vienne, l'Indre, la Vendée et les Deux-Sèvres (TypTerres Centre-Ouest).

2.1 Données disponibles dans DoneSol

Les données mobilisées pour ce travail sont issues de la synthèse des observations des sols (données ponctuelles) et du paysage faites par un pédologue cartographe sur un territoire donné. Elles sont issues du Référentiel Régional Pédologique (RRP), cartographie des sols au 1/250 000. En fonction des pédologues-cartographes mobilisés, le RRP est défini sur l'emprise d'un département ou d'une région. Le RRP ainsi délimité constitue pour DoneSol une étude auxquelles sont rattachées toutes les informations collectées dans les différents niveaux de la base de données. Ces derniers contiennent des Unités Cartographiques de Sol, des Unités Typologiques de Sol et des strates.

Une Unité Cartographique de Sol (UCS) (Arrouays *et al.*, 2004) est définie comme un sous-ensemble de la couverture pédologique où les facteurs de la pédogénèse (géologie, relief, végétation, climat) sont relativement homogènes. A l'échelle des RRP (1/250 000ème), elle constitue le regroupement d'une ou de plusieurs Unités Typologiques de Sol (UTS) ou types de sol.

L'UTS représente une portion de la couverture pédologique qui présente les caractères diagnostiques d'une pédogénèse identique et qui présente en tout lieu de l'espace la même succession d'horizons, l'un ou l'autre de ces horizons pouvant être absent.

- Les strates (table STRATE), associées à une UTS, renseignent sur la variabilité des paramètres pédologiques

dans l'espace d'un horizon, ou d'une couche issue d'un regroupement de plusieurs horizons. Elles sont numérotées de 1 à n depuis la surface. Outre leur profondeur d'apparition et leur épaisseur, elles sont renseignées par 2 types d'informations :

- des variables quantitatives (table STRATE_QUANT) exprimées par des valeurs minimale, maximale et modale : pierrosité (%), granulométrie, teneur en matière organique, capacité d'échange cationique, pH eau, teneur en calcaire...
- des variables qualitatives (table STRATE_QUAL) exprimées par des valeurs de mode principal, secondaire et mineur : classe de texture, couleur, taille des sables, nature des éléments grossiers, abondance des taches d'oxydo-réduction, effervescence, type de structure, porosité...

La structure de DoneSol pour les données surfaciques (UCS, UTS, strates) est présentée en *figure 2*.

Pour la suite du travail, les traitements seront réalisés sur les valeurs modales (*val_mod*) pour les variables quantitatives et sur la valeur principale (*mode_prin*) pour les variables qualitatives (INRA, 2017). Les autres valeurs sont conservées pour i) définir des valeurs et une variabilité pour chaque type nouvellement créé par TypTerres, ii) éclairer l'expertise *a posteriori* et iii) permettre d'éventuelles vérifications.

La structuration multi-table ne permet pas une manipulation aisée des données. Les données sont alors extraites et compilées dans une base appelée DataMart obtenue par concaténation des différentes informations des UCS, UTS et strates dans une table unique.

De ce fait, un enregistrement (c'est-à-dire une ligne du Datamart) comporte les renseignements de la strate, de l'UTS et de l'UCS à laquelle l'UTS est rattachée.

Pour une UTS, nous avons ainsi un nombre de lignes équivalent à son nombre de strates multiplié par le nombre d'affectations des UTS aux UCS. Le *tableau 1* montre un exemple de structuration du DataMart.

Au préalable à la phase d'agrégation, il est important de noter que des informations UTS/strates peuvent se répéter dans le DataMart puisqu'une même UTS peut être affectée à plusieurs UCS.

2.2 Objectifs et présentation de la méthodologie TypTerres

2.1.1 Méthodologie générale

TypTerres a l'ambition de proposer une typologie agronomique des sols. Une typologie rassemble des objets réels pré-

sentant des caractères essentiels ou des caractères distinctifs communs. Cette conceptualisation d'une réalité observée est une simplification de la complexité de phénomènes naturels par des regroupements de comportements similaires (Baize, 1992). Elle est considérée comme un référentiel sans l'objectif d'exhaustivité. La typologie TypTerres est dérivée des Unités Typologiques de Sol décrites dans les RRP. Elle s'inscrit dans le système général de classification ou de regroupement des types de sols tel que le Référentiel Pédologique Français (AFES, 2008), associé à une hiérarchisation des paramètres pédologiques basée sur leur utilisation en agronomie.

Ainsi, les critères choisis pour le regroupement des unités typologiques de sols des RRP (UTS) en types agronomiques TypTerres (UTT = Unité typologique TypTerres) résultent de la prise en compte de quatre objectifs :

- rendre compte des principales caractéristiques pérennes des sols déterminant leur comportement agronomique, c'est-à-dire susceptibles d'influencer i) leurs aptitudes culturales ii) le choix des interventions agricoles en vue d'une diversité d'objectifs (de production ou agro-environnementaux). Plus globalement, les caractéristiques visées sont celles qui influencent les multiples fonctions du sol que l'agriculteur doit gérer (réservoir, milieu d'accueil de la plante, support des interventions culturales, régulateur des cycles, stockage du carbone); elles sont désignées par la suite sous le terme de « traits fonctionnels », transposant un concept utilisé en écologie végétale (Garnier *et al.*, 2016; Faucon *et al.*, 2017);
- décrire des caractéristiques des sols directement observables sur le terrain et peu modifiables (exemple : texture, pierrosité, profondeur);
- disposer d'une correspondance entre les types de sol TypTerres, le Référentiel Pédologique Français et les données renseignées dans la base DoneSol;
- ne pas dépasser un seuil d'environ 50 types de sol par département (+/-10).

Pour atteindre ces objectifs, la méthodologie de TypTerres comporte 6 phases successives :

- Préparation des données issues des RRP;
- Extraction des UTS et des variables pédologiques nécessaires pour les regroupements agronomiques sous la forme du DataMart;
- Agrégation des UTS en un nombre restreint d'UTT en 3 étapes (*figure 3*);
- Validation des regroupements;
- Caractérisation et dénomination des UTT;
- Construction des clés de détermination des UTT.

Ces phases nécessitent de mobiliser des compétences en pédologie et en agronomie impliquant le plus souvent un travail en équipe pluridisciplinaire. L'étape 6 n'a pas été entièrement réalisée dans les projets pilotes; elle n'est pas traitée dans cet article.

Figure 2 : Structure de la base de données DoneSol pour les données surfaciques (INRA, 2017).

Figure 2: Soil database system of synthetic areal data.

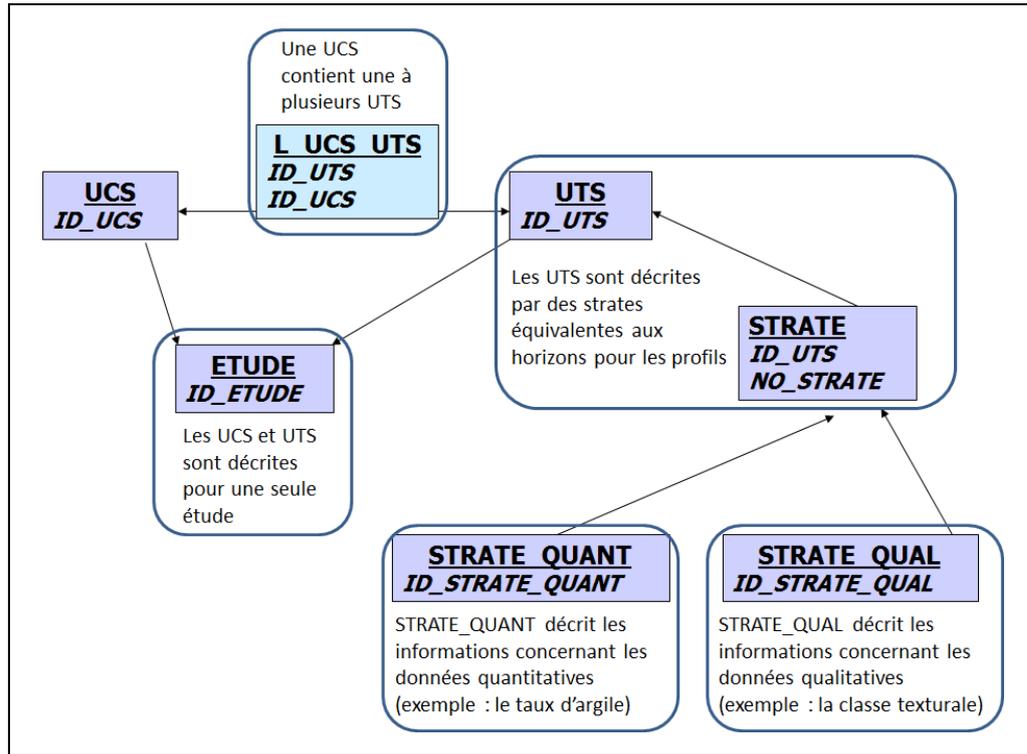


Tableau 1 : Structuration simplifiée du DataMart.

Table 1: Simplified model of the Datamart.

NO_UCS	Champs UCS	Pourcent	UTS	Champs UTS	strate	Informations sur les strates (strat_quant, strate_qual)
1	52	10	25	.....	1	Taux d'argile, limon, calcaire,
1	52	10	25	.....	2	Taux d'argile, limon, calcaire,
1	52	10	25	.....	3	Taux d'argile, limon, calcaire,
1	52	90	26	.....	1	Taux d'argile, limon, calcaire,
2	53	55	75	.....	1	Taux d'argile, limon, calcaire,
2	53	55	75	.....	2	Taux d'argile, limon, calcaire,

2.1.2 Caractérisation des propriétés agronomiques : quatre groupes de traits fonctionnels

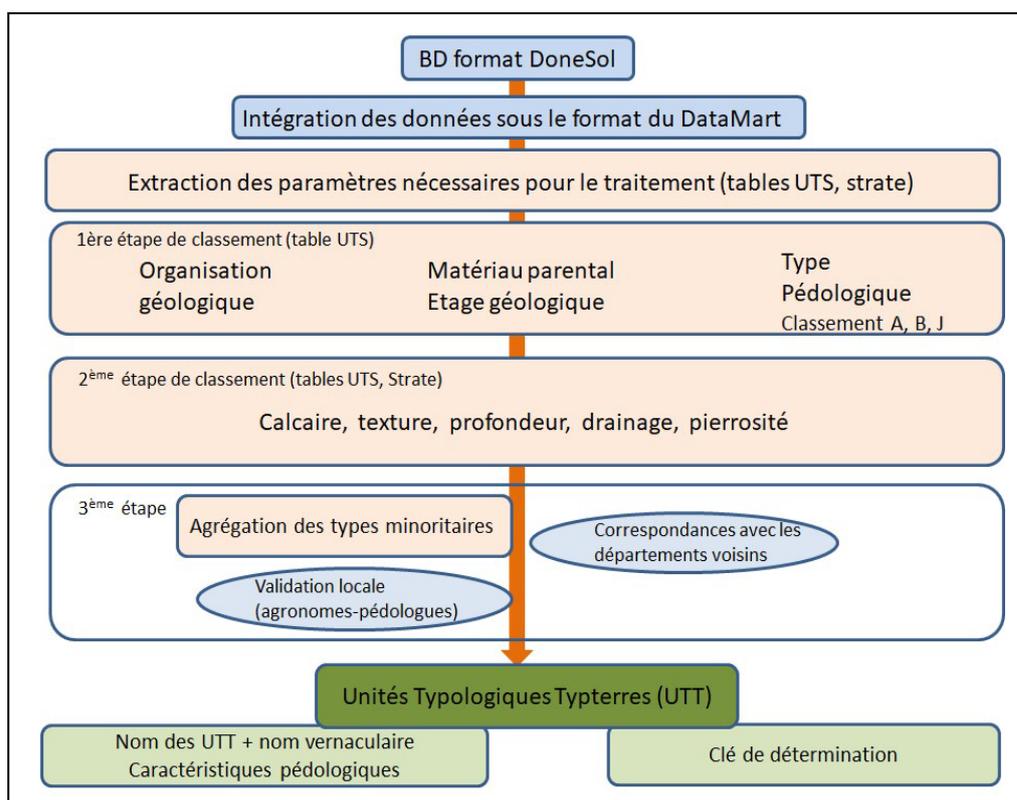
La partie centrale de la méthode est l'agrégation des UTS en UTT selon des traits fonctionnels choisis selon leur importance en agronomie. Quatre ensembles de traits fonctionnels structurent les opérations de regroupement entre les sols :

- Le type **lithologique** du matériau parental. Il permet de caractériser l'héritage granulométrique et chimique qu'il lègue aux sols, ainsi que son rôle de compartiment sous-jacent déterminant l'enracinement et le transfert de l'eau ;
- Le type **pédogénétique** vu sous l'angle du degré de différenciation des horizons à travers l'hétérogénéité verticale qu'il induit (texture et structure) et ses conséquences sur la circula-

tion de l'eau et l'implantation des racines, ainsi que l'ambiance physico-chimique qu'il peut conditionner ;

- les principales caractéristiques pérennes de la strate de surface (texture, teneur en calcaire, charge en éléments grossiers) qui déterminent ses propriétés physico-chimiques et ses aspects les plus facilement observables, pour leur influence sur les choix techniques des agriculteurs (choix de cultures, modalités de travail du sol ou de gestion de l'état chimique) ;
- **deux caractéristiques d'ensemble du solum** : la profondeur du sol et la classe d'hydromorphie (drainage naturel), pour leurs conséquences sur la capacité de stockage en eau du sol et les conditions de ressuyage.

Figure 3 : Procédure d'obtention des TypTerres.
Figure 3: The process for building Typterre units.



Ces quatre ensembles de critères sont ensuite organisés en trois étapes de tri, illustrées dans la *figure 2*.

Ainsi, la simplification de la typologie RRP regroupe les sols d'abord par des traits fonctionnels pédogénétiques (1^{re} étape : type lithologique et degré de différenciation des horizons). Ensuite, les sols sont triés selon des traits fonctionnels physico-chimiques liés à leurs propriétés d'ensemble et de surface (2^e étape : taux de calcaire, pierrosité, texture de l'horizon de surface, classe de drainage naturel et profondeur). La dernière étape consiste en une première validation des regroupements par expertise, une harmonisation inter-régionale et une simplification par l'agrégation des types minoritaires à des UTT proches pédologiquement.

Le produit final des trois étapes de tri est un ensemble d'Unités Typologies TypTerres (UTT).

2.1.3 Présentation des territoires ateliers

Les territoires sur lesquels les tests ont été réalisés sont les départements de la Vendée, les Deux-Sèvres, la Vienne, l'Indre et les 2 départements alsaciens (*figure 4*). Les territoires-ateliers ont été choisis de manière à couvrir une diversité de pédopaysages, notamment à travers les contextes géologiques des RRP utilisés (socles anciens, bassins sédimentaires, plaine alluvionnaire). En Centre-Ouest (*figure 4*), des départements limitrophes couverts par des RRP différents ont été choisis afin de traiter les questions d'harmonisation.

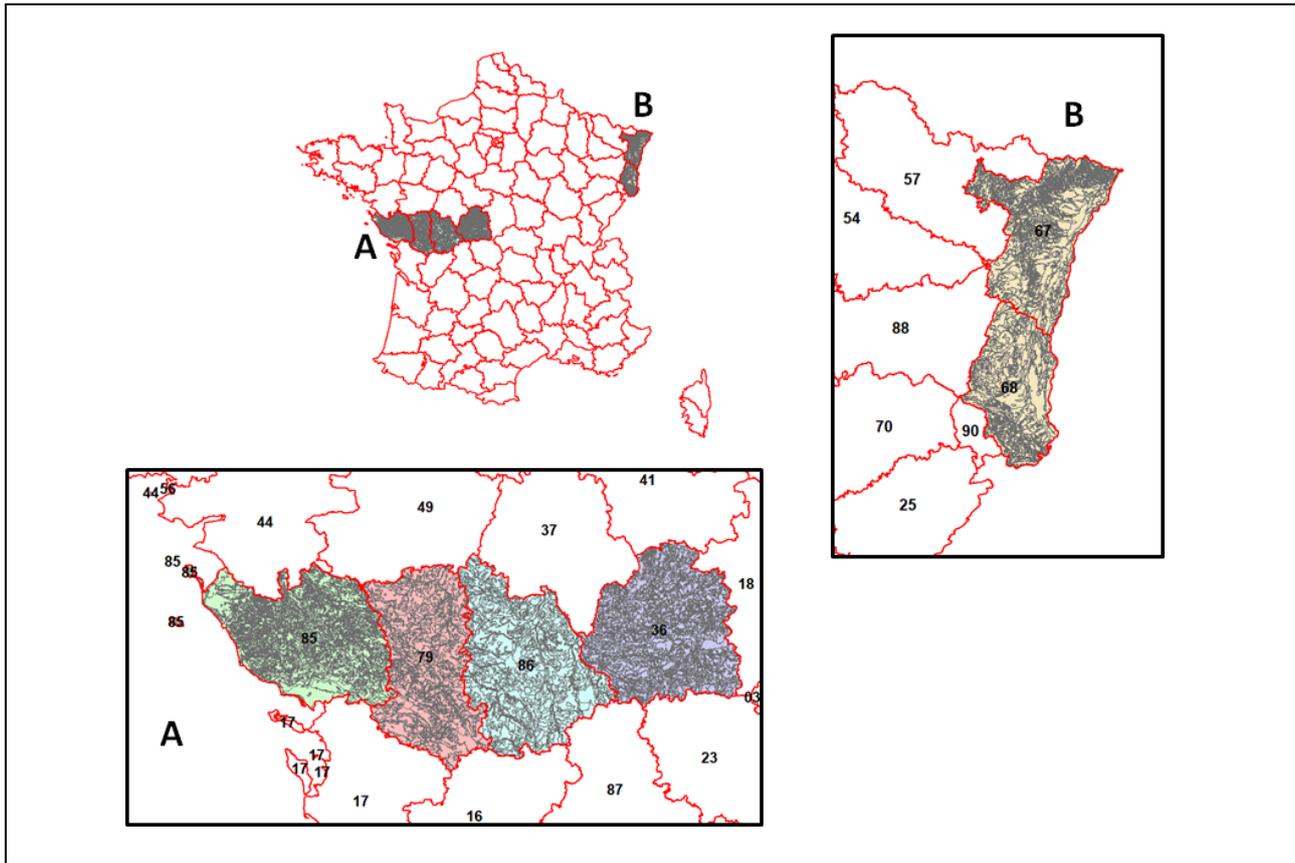
Le *tableau 2* précise les principales caractéristiques de ces Référentiels Régionaux Pédologiques.

3. RÉSULTATS

3.1 Agrégation des UTS en un nombre restreint d'UTT

Les opérations décrites dans cette partie ont pour objectif de créer les UTT à partir des informations connues dans les UTS (Unités Typologiques de Sols) et dans les Strates du RRP (valeurs qualitatives et quantitatives – cf. Matériel et Méthodes). La classification peut se faire, soit sur l'ensemble des UTS d'un RRP, soit en travaillant sur une sous-partie de l'Étude par un tri géographique préalable par région naturelle. Le tri géographique est fortement conseillé pour augmenter la pertinence des groupes en limitant le nombre de types de sol réunis au sein d'une UTT (par exemple : tri des sols de la plaine et des collines agricoles en Alsace).

Au sein de chaque étape, aucune hiérarchisation n'est imposée concernant l'ordre des variables à appliquer dans la classification. Cet ordre peut en effet être guidé par des logiques territoriales différentes, qui ne remettent pas en cause l'harmonisation des UTT à l'échelle nationale.

Figure 4 : Localisation des territoires ateliers**Figure 4:** Location of the test areas.

3.1.1 Classification préalable à partir des traits fonctionnels pédogénétiques

Avant de procéder à la première étape de regroupement, il faut constituer un ordonnancement des UTS en fonction des traits fonctionnels qui sont soit hérités du - ou fortement liés au - type de matériau parental (cas A), soit contraints par une pédogénèse (cas B), soit liés à des situations de matériaux peu ou pas marquées par une pédogénèse (cas J) (*tableau 1*). Les types de sols sont alors répartis en 3 classes de références pédologiques qui sont identifiées A-B-J- suivant le *tableau 3*.

Dans le Référentiel Pédologique, les doubles rattachements sont possibles qui lors de cette étape préalable pourraient être affectés à deux classes différentes A, B ou J. En cas de double rattachement, ces sols sont classés, par expertise, en fonction de l'évolution pédogénétique la plus exprimée. Exemple: double rattachement LUVISOL-REDOXISOL -> sol très différencié où « LUVISOL » prime (classe B).

Suite à ces regroupements, un classement s'effectue à partir du DataMart sur les champs extraits de la table UTS (suivant la classification du Référentiel Pédologique). Il intègre :

- l'organisation géologique, *ORG_GEOL* (DoneSol)= monolithique ou bilithique ;
- le nom du matériau (*NOM_MAT* (DoneSol)) et sur l'étage géologique (*ETAGE_GEOL1* (DoneSol)) ;
- les classes A, B, J nouvellement définies.

3.1.2 Classification sur les traits fonctionnels physico-chimiques

Suite à ce premier tri, chaque population définie dans l'étape 3.1.1 est ensuite analysée suivant des critères issus d'autres informations des tables « UTS » et « strates ».

Pour accompagner cette seconde étape, il est proposé des bornes segmentant chaque critère. Celles-ci-ont été définies par le groupe d'experts du projet. Elles permettent d'interpréter les données relatives aux sols dans un objectif

Tableau 2 : Caractéristiques des RRP concernés.**Table 2:** Specifications of the RRP.

Département	Centre-Ouest				Est
	Indre (36)	Vienne (86)	Deux-Sèvres (79)	Vendée (44)	Haut-Rhin / Bas-Rhin (67-68)
Année	2015	2012	2007	2013	2010
Auteurs	J. Moulin	C. Cam	C. Cam	C. Ducommun	JP Party, N. Muller, J. Sauter
Surface du territoire (ha)	688 000	672 000	700 800	672 000	830 000
Nombre d'UTS	389	212	141	171	377

Tableau 3 : Regroupement des types de sol en 3 classes de références pédologiques.**Table 3:** Grouping of soil types into 3 classes of soil references.

	Caractéristiques	Références
A	Sols peu différenciés ou hydromorphes à référence simple	BRUNISOLS, CALCOSOLS, CALCISOLS, PELOSOLS, FERSIALSOLS, ALOCRISOLS, VERTISOLS, hydromorphes (simples), REDOXISOLS, ou bien des sols minces, RENDOSOLS, RANKOSOLS, LITHOSOLS, etc.
B	Sols très différenciés (à référence simple ou double rattachement par l'hydromorphie) B suppose présence d'horizons E, S, BP ou BT	LUVISOLS (-REDOXISOLS), NEOLUVISOLS, PLANOSOLS, PODZOSOLS, etc.
J	Sols peu différenciés généralement épais (référence simple ou double rattachement par l'hydromorphie ou la salinité) J suppose l'absence d'horizon S	COLLUVIOSOLS (-REDOXISOL), FLUVIOSOLS, THALASSOSOLS, SALISOLS, et SODISOLS, ORGANOSOLS, HISTOSOLS, etc.

agronomique et de donner ultérieurement un adjectif qualitatif aux principales variables physico-chimiques des UTT. Le tri qui en résulte aboutit en effet à une liste très fournie en UTT, alors qu'on attend une liste restreinte. Un travail d'expertise est donc ensuite nécessaire pour regrouper différentes catégories de sols établies par cette méthode (cf. partie 3.1.3).

Notons qu'à l'issue de ce tri résultant de l'utilisation des bornes, il est conseillé de garder une copie du fichier obtenu. Ce fichier favorise la traçabilité de la méthode et constitue un palier important, nécessaire en cas de retour en arrière dans l'application de la procédure.

Ces tris peuvent être effectués au moyen de différents outils, selon les compétences de l'opérateur (Excel, Access, R...). Les regroupements s'appuient sur les informations contenues dans les UTS et les *Strates* :

- identification des sols carbonatés ou non carbonatés par le champ *EFFERVESCENCE* (*DoneSol*) et la teneur en carbonate de la strate de surface exprimée sous forme de classe (mais avec une éventuelle prise en compte des autres strates si elles ont une influence agronomique) ;

- classe granulométrique de la strate de surface : regroupement selon les taux d'argile, limon et sable (sans décarbonatation préalable pour les sols calcaires) ;
- abondance et nature des éléments grossiers de la strate de surface ;
- profondeur du sol (valeur modale) *PROF_SOL_MOD* (*DoneSol*) ;
- drainage naturel : champ *DRAI_NAT* (*DoneSol*) (INRA, 2017) exprimés pour ce champ ;
- profondeurs d'apparition des horizons rédoxiques ou réductiques (g, GO et GR).

Il est nécessaire de transformer les données de chaque paramètre sous forme de classes pour faciliter les tris selon les indications du *tableau 4*.

3.1.3 Agrégation en UTT par expertise et validation des regroupements

Les deux étapes précédentes peuvent éventuellement générer un nombre d'UTT très supérieur aux objectifs fixés au départ. La troisième étape vise donc à réduire le nombre d'UTT par des

Tableau 4 : Variables, classes et bornes. Les classes sont attribuées pour chaque critère à partir des valeurs modales (valMOD).**Table 4:** Variables, classes and bounds. The classes are assigned for each criterion from modal values.

Classe	Abondance des éléments grossiers (%)	Taux d'argile (%)	Taux de limons (%)	Taux de sable (%)	Taux de calcaire total (%)	Profondeur du sol et profondeur d'apparition des horizons g, GO, GR cm
0	absence d'EG					
1	< 5	<120	<250	<400	<2	< 25
2	[5 – 15 [	[120-180 [	[250-450 [	[400-600 [	[2-10 [	25-50
3	[15 – 30 [	[180-300 [	[450-600 [	[600-800 [	[10-25 [	50-80
4	[30 – 50 [	[300-450 [	[600-750 [	>=800	[25-50 [	>80
5	>= 50	>=450	>=750		>=50	

regroupements successifs. Le choix de regrouper ou de garder le détail dépend du périmètre du projet et de la nature des UTS. Une première partie du regroupement des UTT se base sur la surface occupée par les UTT dans le département, les UTT les plus petites sont associées à des plus grandes et plus proches en termes géographique et sémantique. La prise de décision finale de l'expert pédologue local se fait en acceptant (plus ou moins « doulourement ») des entorses aux règles fixées préalablement : par exemple, tolérer l'apparition d'un horizon rédoxique dans une unité de sols non hydromorphes, ou d'un sol un peu plus épais dans une unité de sols moyennement épais...). Localement, ou aux abords de limites administratives, il est préférable de garder des UTT à faible représentation spatiale puisque, lors de l'agrégation avec d'autres territoires voisins, ces petites UTT pourraient avoir une emprise plus importante. En effet, des sols peu représentés en termes de surface sur un territoire donné peuvent parfois être des sols majoritaires dans le département voisin. Par ailleurs, il est également possible de garder des UTT de faible surface si ces dernières ont un comportement agronomique sensiblement différent demandant un conseil spécifique par rapport aux autres types de sol.

Le nombre total d'UTT est ensuite réduit par regroupement des UTT semblables lors de l'harmonisation entre départements au-delà de la limite administrative de chaque Référentiel Régional Pédologique :

Ces travaux se sont faits en concertation entre les chargés d'étude ou d'experts locaux qui ont produit le RRP ou qui en sont les gestionnaires sur leur territoire respectif.

3.2 Caractérisation et dénomination des UTT

Suite à ce traitement, les UTT sont alors identifiées par un nom facilement compréhensible et de manière homogène suivant les critères retenus : texture, profondeur, éléments grossiers, état calcique, hydromorphie et matériau parental.

Exemple : Sol argileux, moyennement profond, peu cailleux, hydromorphe, sur argile lourde.

Ce nom peut être associé à un nom vernaculaire (s'il existe) ou un nom court aisé à retenir et complété par l'aire de représentation géographique de l'UTT.

La valorisation des UTT par les utilisateurs nécessite que chacune d'elles soit caractérisée par différents descripteurs, correspondant aux données d'entrée requises par les OAD ou OEAE. Il est donc nécessaire de disposer d'informations caractérisant l'UTT sur la couche de surface mais aussi sur les couches de profondeur colonisables par les racines. Ces couches sont construites à partir des strates d'origine. Les valeurs associées à chaque couche (taux d'argile, épaisseur, charge en éléments grossiers, calcaire, Carbone, CEC,) sont déterminées sur la base des valeurs renseignées dans DoneSol (DataMart), des regroupements faits pour construire les UTT, et de leurs estimations, soit par des calculs statistiques, soit par expertise ou une combinaison des deux. Chaque couche est ainsi caractérisée par les moyennes, minimums et maximums des variables quantitatives, et par la valeur dominante des variables qualitatives des UTS regroupées au sein d'une même UTT. Il est également possible d'identifier les bornes maximum et minimum de chaque variable à partir des données des UTS ; ce qui n'a pas été fait dans un premier temps. Suite aux premières créations « manuelles » d'UTT dans les zones ateliers, un travail complémentaire a été réalisé pour faciliter ce renseignement en valeurs des UTT. Grâce à leur affiliation aux UTS, des scripts ont été développés sous R pour automatiser la récupération des

données dans les différentes tables et affecter ainsi des valeurs à chaque descripteur des UTT. Ils pourraient être complétés pour renseigner la variabilité de ces descripteurs. Ils seront mis à disposition et testés sur les nouveaux territoires engagés dans la démarche TypTerres. Cette automatisation est un gain de temps important, par rapport à une action manuelle, d'identification des informations liées à l'UTT, et leur compilation et leur traitement, pour extraire les données moyennes ou les modes principaux (pour les données qualitatives).

Les outils d'aide à la décision nécessitent souvent des propriétés des sols non contenues dans DoneSol (Réservoir Utile, propriétés hydriques,). Pendant le projet pilote, des variables externes à DoneSol ont ainsi été estimées par des fonctions de pédotransfert (Réservoir Utile, densité apparente) pour les besoins de trois modèles ciblés pour la validation de la méthode TypTerres: Syst'N®, Irre-Lis® et Simeos-AMG®.

Le Réservoir Utile ou RU exprimé en mm/cm peut être dérivé des règles de pédotransfert proposées par Bruand *et al.* (2004). Les valeurs de RU de la terre fine sont définies à partir des classes de texture (triangle de l'Aisne) et du nom de la couche. Le RU des éléments grossiers par couche est calculé à partir de la fonction de pédotransfert de Tetegan *et al.* (2011). Le RU de la couche est alors la somme du RU de la terre fine et du RU estimé à partir de la nature des éléments grossiers au *pro rata* de leur pourcentage volumétrique (Cousin *et al.*, 2003).

3.3 Les regroupements des sols en UTT dans les territoires ateliers en Centre Ouest et en Alsace

Dans ces 2 secteurs, la mise au point de la méthode et les premiers regroupements en UTT ont été réalisés par les producteurs et/ou gestionnaires des RRP. L'avancement de la méthode et les premiers résultats ont été présentés successivement à un groupe de travail territorial, dont le rôle était d'orienter la méthodologie et de valider les résultats obtenus. Celui-ci rassemblait principalement des utilisateurs actuels ou potentiels pour des organismes tels que des chambres d'agriculture, des laboratoires, des organismes économiques (coopératives et négoce) et des instituts techniques (Arvalis...).

Le *tableau 5* présente les résultats obtenus pour les départements-tests. Il indique le nombre d'UTT créées par département à partir des UTS décrites dans le Référentiel Régional Pédologique.

Dans le Centre Ouest, le rapport départemental UTS/UTT obtenu est situé entre 3 et 8, soit 156 UTT définies à partir des 4 RRP. La confrontation interdépartementale, par regroupement des UTS communes, a permis de réduire à 65 le nombre d'UTT pour l'ensemble du territoire atelier. Chaque UTT couvre une surface comprise entre 200 et 150 000 ha. Un nombre important d'UTT est commun à ces 4 départements et seulement 16 ne sont présentes que sur un seul des 4 départements. Cette étape essentielle d'harmonisation repose sur la stricte expertise pédologique des gestionnaires et/ou créateurs des RRP. Dans la perspective d'une typologie nationale, cette étape revêt un caractère essentiel.

Les résultats sur les premières zones test sont aujourd'hui disponibles en téléchargement sur le site du RMT Sols et Territoires:

https://www.sols-et-territoires.org/produits-du-reseau/projets-affilies-au-rmt-st/typterres/espace-de-telechargement/?no_cache=1

Les données se présentent sous la forme d'un tableau qui caractérise chaque UTT par un nom (exemple: Argileux, profond, moyennement caillouteux, hydromorphe, sur argile lourde), un nom de matériau parental (ex: Argile lacustre), un étage géologique (ex: Tertiaire), un nom suivant la classification du Référentiel Pédologique (ex: CALCOSOL, cailloutique), une épaisseur (en cm) et pour chaque couche (équivalent des strates des UTS) des descripteurs hérités de DoneSol (nom de la couche, épaisseur (cm), abondance (en %) et nature des éléments grossiers, couleur, calcaire total et actif (en %), carbone, azote, matière organique (en %), CEC, pH_{eau}, taux d'argile, de limon et de sable (en %), classe de texture). Sont également renseignés des descripteurs issus de fonctions de pédotransfert estimant le RU et la densité apparente.

Les UTT construites ont pu être comparées aux sols décrits dans la BaseSol d'Arvalis, dans les deux territoires ateliers. Les résultats sont convergents: pour une soixantaine d'UTT par territoire, certaines correspondent exactement à un sol de la BaseSol, d'autres n'ont pas d'équivalent dans la BaseSol, plus de la moitié des UTT peuvent être rattachées à un sol de la BaseSol, avec une correspondance de 2 à 6 UTT par sol. Ces résultats confirment donc 2 spécificités des Typterres par rapport aux typologies préexistantes: meilleure exhaustivité, meilleure représentation de la variabilité de certaines propriétés pour un sol donné.

Tableau 5 : Résultats de l'agrégation en UTT dans les territoires ateliers.**Table 5:** Results of the UTT aggregation in the workshop areas.

Département	Centre Ouest				Alsace
	Indre	Vienne	Deux Sèvres	Vendée	Alsace
Surface du territoire (ha)	688 000	672 000	700 800	672 000	830 000
Nombre d'UTS	389	212	141	171	377
Nombre UTT	48	33	39	36	70
Surface moyenne des UTSS (ha)	14 333	21 182	17 520	18 667	11 857

4. DISCUSSION

4.1 Le bénéfice d'une construction participative encadrée

La méthode TypTerres se base sur la concertation entre les experts et les utilisateurs pour améliorer la prise en compte des sols agricoles tant à l'échelle de l'exploitation agricole que du territoire. Divers ateliers, en amont de la construction de la méthode, ont permis de définir avec les utilisateurs potentiels leurs besoins et leurs attentes sur la nature des données et leur format. Ils sont nécessaires pour assurer le dialogue et le partage des références et des objectifs entre les parties prenantes. Le procédé est consigné dans un document qui explicite les différentes étapes. Il est mis à disposition de tous ceux qui souhaitent construire une typologie agronomique. La méthode nécessite des connaissances variées concernant i) l'agronomie et la pédologie, ii) la base DoneSol, iii) l'historique des données. La connaissance des sols sur le territoire concerné est un prérequis pour la mise en place des TypTerres afin de bien appréhender leur fonctionnement et leur répartition géographique. La concertation avec les parties prenantes et les dialogues entre experts constituent également une garantie d'objectivité et de transparence, posant des critères prédéfinis pour les regroupements des sols en UTT. Par ailleurs, l'automatisation des premières étapes a été expérimentée pour assurer une objectivité et une homogénéisation dans ces regroupements, mais aussi pour optimiser le temps de traitement. L'expertise n'interviendrait que dans un second temps pour gérer les UTS « restantes » et l'harmonisation avec les départements limitrophes. Cette automatisation s'appuie aujourd'hui sur les techniques d'apprentissage automatique, capables de traiter un grand nombre d'informations sans *a priori*. Différents outils statistiques de regroupement avaient été identifiés, par exemple le Model-based clustering, Random Forest, GBM, Cubist, nnet, CART. Seule une Analyse en Composante Multiples (ACM) a été testée sur le département de l'Indre (Querin, 2015) pour réaliser les étapes 1 et 2 de la figure 1.

Une démonstration probante à consolider

Les typologies réalisées sur les 2 territoires ateliers ont permis de tester la méthode et de montrer que TypTerres était une valorisation possible des RRP. Le nombre d'UTT obtenu correspond au nombre attendu lors des premiers échanges (une cinquantaine de types de sol par département). L'association dans les réflexions de divers utilisateurs de données sol, privés ou publics, a permis d'atteindre d'autres objectifs concernant ces partenaires: i) leur faire connaître les données sols des RRP ii) leur faciliter l'appropriation *a posteriori* des TypTerres iii) obtenir un produit fini qui corresponde à leurs besoins.

La création d'une typologie sur ces 2 territoires a apporté quelques enseignements méthodologiques :

- la typologie doit être construite préférentiellement par le chargé d'étude qui a réalisé le RRP afin d'apporter toute sa connaissance du terrain mais aussi de la transcription qui en a été faite dans la base de données. Se posera donc la question des territoires où le chargé d'étude n'est plus en activité ;
- une phase d'expertise et une concertation sont indispensables pour valider et affiner le nombre d'UTT dans plusieurs territoires contigus ;
- la construction reste chronophage ; c'est pourquoi il est important de rendre opérationnelles les phases automatisées pour diminuer le temps passé et essayer d'homogénéiser les résultats des premières étapes.

Dans la perspective de construire une typologie agronomique des sols cohérente et partagée à l'échelle nationale, ce premier exercice a montré que cet objectif est ambitieux car les territoires des RRP sont différents avec des auteurs et des spécificités naturelles propres. Il reste néanmoins réaliste mais nécessitera une concertation forte entre départements pour valider les choix et les compromis à faire de part et d'autre.

La méthodologie TypTerre se développe actuellement sur d'autres territoires (Hauts-de-France, les autres départements des régions Val-de-Loire et Grand-Est, Drôme, l'Isère et l'Ain). Cette extension va pouvoir conforter les travaux menés jusqu'à présent.

4.3 Intégrer la variabilité des UTT dans une typologie TYPTERRES et dans le conseil

Pour être conforme aux données utilisées et à la réalité de terrain, les données produites au niveau d'une UTT devraient être utilisées en tenant compte de la variabilité des UTS qui ont permis de construire cette UTT. Il faudra pour cela prendre en compte la dispersion des valeurs autour de leur valeur moyenne ou modale ou les modes secondaires et mineurs pour les variables qualitatives renseignées dans les RRP. Cette étape n'a pas été réalisée à ce jour mais elle est indispensable pour montrer la variabilité des descripteurs pédologiques sur différentes portions des territoires. Il sera d'ailleurs important de montrer aux utilisateurs les variabilités pouvant exister au sein de certaines UTT pour certains paramètres et leurs conséquences sur l'incertitude associée aux conseils issus des OAD.

L'usage des UTT dans les OAD et OEAE demande une estimation de variables complémentaires non présentes dans les RRP. En particulier, le réservoir utilisable (RU) est une variable très largement utilisée par le développement agricole. La méthode appliquée dans cette étude devra être évaluée et améliorée pour prendre en compte l'effet des propriétés des couches profondes du sol sur l'enracinement. Hormis le RU (Roman Dobarco *et al.*, 2019), des fonctions ou règles de pédotransfert restent à établir pour d'autres variables d'intérêt (densité apparente, teneur en argile...).

Les nouvelles références constituées par ces UTT nécessitent d'être validées pour s'assurer de leur plus-value par rapport aux typologies locales préexistantes. Une des difficultés possibles serait la difficulté d'acceptation de ces nouvelles références par des conseillers ou autres utilisateurs, les habitudes ancrées depuis de nombreuses années pouvant parfois être difficiles à changer.

La validation des UTT s'appuie principalement sur l'expertise conjointe des pédologues et des agronomes connaissant le contexte local. Les méthodes de validation sont de deux types, complémentaires et à mener conjointement :

- Comparaison avec des typologies déjà existantes ; en mobilisant l'expertise locale dans les groupes GREN, les coopératives, les chambres d'agriculture et auprès des ingénieurs des instituts techniques, des chercheurs connaissant les sols locaux et des agriculteurs.
- Analyse de la sensibilité des OAD ou OEAE à l'usage des TypTerres par comparaison avec les typologies préexistantes.

Un premier test d'utilisation des données TypTerres dans 3 OAD (SysT'N, Irrédis, Simeos-AMG) a été mené en Centre-Ouest dans le Thouarsais (Arnaudeau, 2016). Les variables fournies par

les UTT s'avèrent opérationnelles dans ces outils, mais l'étude n'a pas permis d'aller jusqu'à une comparaison avec l'usage des classifications locales.

5. CONCLUSION

L'enjeu majeur de la création des typologies TypTerres est de permettre une meilleure prise en compte des connaissances liées aux sols dans le domaine de l'agronomie et de l'agri-environnement en favorisant l'usage de référentiels de sols communs à tous les acteurs d'une région, voire au niveau national, de l'agronome à l'agriculteur en passant par les différents prescripteurs. Les attentes sont d'ailleurs très fortes à ce niveau. L'objectif final des TypTerres est la construction d'une typologie agronomique des sols cohérente à l'échelle nationale. En effet, de nombreux organismes (instituts de recherche et de développement, instituts techniques, laboratoires, coopératives, etc.) travaillent sur plusieurs départements ou régions et ont donc besoin d'un référentiel commun sur ces territoires. De plus, les enjeux de gestion durable des ressources par l'agriculture (qualité des eaux, biodiversité, etc.) demandent des références et des normes au niveau national voire international.

Les impacts attendus de TypTerres ont été mis en évidence lors des ateliers avec les utilisateurs en phase initiale et finale des deux projets pilotes. Le premier impact est de faciliter **l'élaboration et le partage de références agronomiques entre acteurs d'une même région ou de régions voisines**. Au sein d'une région, l'utilisation d'un même référentiel, permet l'échange et la mise en commun des résultats à différents niveaux : petite région naturelle, territoire écologique, département, région, territoire national. Le deuxième impact concerne l'amélioration du **déploiement des outils concourant à la mise en œuvre d'une agriculture durable**. En effet, les TypTerres et les clés de détermination qui leurs seront associées contribueront à une meilleure identification du type de sol pour les utilisateurs non-pédologues. Les résultats issus d'une typologie commune permettraient également d'harmoniser les conseils sur un territoire et de faciliter l'échange de références et l'analyse des résultats. **Finalement, l'augmentation de la qualité du référentiel sol et donc des résultats des outils est un impact largement attendu par les concepteurs et les utilisateurs de ces outils**. L'accès à des données normalisées augmenterait la pertinence, la précision et la représentativité des résultats des outils. Ainsi, un même utilisateur (prescripteur ou agriculteur) sera en mesure d'utiliser plusieurs outils à

partir des mêmes données sol pour des opérations complémentaires (fertilisation, travail du sol, etc.).

La méthode TypTerres décrite dans cette étude a été mise au point sur deux zones géographiques dans des contextes pédoclimatiques différents (Centre-Ouest et Alsace). Le travail méthodologique conduit sur ces deux secteurs a fait l'objet de nombreuses discussions méthodologiques et techniques entre les différents acteurs : du producteur de la donnée à l'utilisateur, du pédologue à l'agronome. Le développement suivant consistera à mettre à l'épreuve cette méthodologie sur d'autres territoires pour s'assurer de sa généralité. Trois autres territoires sont programmés sur 2019-2020 (Régions Centre-Val-de-Loire, Grand-Est et Hauts de France).

Dans un souci d'une meilleure exploitation des informations sur les sols, la typologie TypTerres doit être accompagnée d'une aide au choix de l'UTT en vue de permettre à tout utilisateur d'OAD d'identifier l'UTT correspondant à sa situation. Ce choix devra se baser sur un premier niveau d'identification géographique, puis être affiné par des questions sur la position topographique, des propriétés superficielles (couleur, éléments grossiers, calcaire, etc.), et/ou le comportement agronomique connu du sol (ressuyage, battance, etc.). Une interface cartographique permettrait aux utilisateurs de se repérer plus facilement pour choisir le point GPS, la commune ou le bassin versant qui le concerne. L'outil TypSol¹, développé en Bourgogne, est déjà opérationnel et fonctionne sur ce principe, avec un module supplémentaire d'enrichissement de l'information par la récupération et le stockage de l'observation faite *in situ*. La co-construction d'un outil d'aide au choix de l'UTT dans les TypTerres reste à faire sur ces bases méthodologiques. Elle constitue un point clé du déploiement des TypTerres dans les territoires.

Il faut enfin rappeler que les UTT sont des regroupements d'informations pédologiques au 1/250 000ème issues des RRP. Les UTT sont donc une dégradation de l'information des UTS. Dans certaines études, autres que celles pour lesquelles TypTerres a été conçu, le retour à ces UTS initiales sera donc très probablement plus pertinent.

TypTerres a été élaborée dans le cadre du RMT Sols et Territoires, soutenue par le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, les agences de l'eau Loire-Bretagne et Rhin Meuse, la région Grand Est et l'Union Européenne.

¹ <http://solsdebourgogne.fr/>

BIBLIOGRAPHIE

- Alliot B., Verbèqne B., Goussault C., 1995 - Les terres de Beauce, Typologie des sols, Chambres d'Agriculture d'Eure-et-Loir, Loiret et Loir-et-Cher, 52 pages.
- AFES, 2008 - Référentiel Pédologique. Edition Quae, 405 pages.
- Amiet Y., Boutruche M., Julien J.L., Brunel F., 1988 - Les sols de Haute-Normandie. Chambre d'agriculture de Normandie, 108 p.
- Andriulo A., Mary B., Guérif J., 1999 - Modelling soil carbon dynamics with various cropping sequences on the rolling pampas. *Agronomie*, 19, pp. 365-377.
- Arnaudeau M., Fort J-L., 2016 - Exploitation de la BD TypTerres dans le Thouarsais - rapport interne- 20 p.
- Arrouays D., Hardy R., Schnebelen N., Le Bas C., Eimberck M., Roque J., Grolleau E., Pelletier A., Doux J., Lehmann S., Saby N., King D., Jamagne M., Rat D., Stengel P., 2004 - Le programme Inventaire Gestion et Conservation des Sols de France. *Étude et Gestion des Sols*, 11(3), pp. 187-19.
- Baize D., 1989 - Typologie des sols de l'Yonne, Plateaux de Bourgogne. I.N.R.A., 154 p.
- Baize D., 1992 - Typologies et types en Pédologie. *Science du Sol*, Vol. 30, 2, pp. 95-115.
- Barneoud C., Francois M., 1996 - Référentiel Régional agronomique. Département du Doubs. Chambre d'agriculture de Franche-Comté, 60 p.
- Bouthier A., Duparque A., Mary B., Sagot S., Trochard R., Levert M., Ganteil F., 2014 - Adaptation et mise en œuvre du modèle de calcul de bilan humique à long terme AMG dans une large gamme de systèmes de grandes cultures et de polyculture-élevage. *Innovations Agronomiques*, 34, pp. 367-378.
- Bouthier A., 2019 - Fertilité des sols agricoles : une base de données pour suivre les évolutions - Perspectives agricoles, N°465, p 38-42.
- Bruand A., Duval O., 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*, 11(3), pp. 323-334.
- Bruckert S., Gaiffe M., 1985 - Centre universitaire d'étude régionales de Franche-Comté. Les sols de Franche-Comté. 142 p.
- CGAAER-CGEDD, 2015 - Proposition pour un cadre national sur la gestion durable des sols. https://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/cgaaer_14135_cgedd_010068-01_2015_rapport.pdf
- Chen S., Richer-de-Forges A.C., Saby N., Martin M., Walter C., Arrouays D., 2019 - Building a pedotransfer function for soil bulk density on regional dataset and testing its validity over a larger area. *Geoderma*, 312, 15 (February 2018), pp. 52-63.
- Chéry P., Baize A., Prim J., Arrouays D., 1997 - Les typologies régionales des sols : des outils pour le développement agricole. Exemple d'une typologie des sols pour la région du confluent (Lot et Garonne - In: Comptes rendus - Presented at Forum SOL et SIG. Applications dans le Sud-Ouest de la France, Bordeaux, FRA, 1997-01-15 -
- Cousin I., Nicoulaud B., Coutadeur C., 2003 - Influence of rock fragments on the water retention and water percolation in a calcareous soil. *Catena* 53, 2), pp. 97-114.
- Damay N., Collard J., 2011 - L'appropriation sur le terrain d'un nouvel outil d'aide à la décision, l'exemple du logiciel AzoFert® en Champagne-Ardenne et Picardie. Comifer - Gemas 10^{es} rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse. Reims, 23-24 Nov.
- Delaunoy A., 1995 - Guide pour le choix des essences de reboisement dans le Tarn. CRPF Midi-Pyrénées, Chambre d'Agriculture du Tarn. 43 p.
- Dupas R., Parnaudeau V., Reau R., Jeuffroy M. H., Durand P., Gascuel-Oudoux C., 2015 - Integrating local knowledge and biophysical modeling to assess nitrate losses from cropping systems in drinking water protection areas.

- Environmental Modelling and Software, 69, pp. 101-110. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.03.009>
- Epinat V., Scheurer O., 1997 - Typologie agronomique des sols du département de l'Oise. Doc. ISAB- Conseil général de l'Oise. 23 p.
- Evrard D., 1990 - Les sables en Sarthe. Chambre d'Agriculture de la Sarthe et FDGEA, 20 p.
- Faucon M.P., Houben D., Lambers H., 2017 - Plant functional traits: soil and ecosystem services. *Trends in plant science*, 22(5), pp. 385-394.
- Favrot J.C., Bornand M., Bouzigues R., Hardy R., 1998 - Une contribution à la connaissance des sols de France: les typologies de sols et Référentiels agronomiques régionaux. *Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, Vol 84, 7, pp. 81-92.
- Froger D., Moulin J., Servant J., 1994 - Typologie des sols: les terres de gâtines, Boischaud-Nord, Pays-Fort, Touraine-Berry, Chambres d'Agriculture du Cher, Indre-et-Loire et Indre, 129 p.
- Garnier E., Navas M. L., Grigulis K., 2016 - Plant functional diversity: organism traits, community structure, and ecosystem properties. *Oxford University Press*, 256 p.
- Gloria C., 2017 - La caractérisation des sols en voie de démocratisation, REUSSIR: Grande Culture n° 17, pp. 36-37.
- Grolleau E., Bargeot L., Chafchafi A., Hardy R., Doux J., Beaudou A., Le Martret H., Lacassin J.-C., Fort J.-L., Falipou P., Arrouays D., 2004 - Le système d'information national sur les sols: DoneSol et les outils associés. *Etude et Gestion des Sols*, Vol. 11, 3, pp. 255-269.
- INRA – US 1106 InfoSol, 2017 - DoneSol version 3.5.1. Dictionnaire de données, version du 1^{er} mai 2017. *Gis Sol*. 454 p.
- Jacquin F., Florentin L., 1988 - Atlas des sols de Lorraine, Presses Universitaires de Nancy, 113 p.
- Koller R., Sauter J., Scheurer O., 2011 - La prise en compte des sols dans les outils d'aide à la décision, d'évaluation et les modèles: apports possibles des bases de données sols régionales. Poster et résumé Colloque GEMAS COMIFER – Reims.
- Laroche B., Richer-de-Forges A.C., Leménager S., Arrouays D., Schnebelen N., Eimberck M., Toutain B., Lehmann S., Tientcheu E., Héliès F., Chenu J.-P., Parot S., Desbourdes S., Girot G., Voltz M., Bardy M., 2014 - Le programme inventaire Gestion et Conservation des Sols de France: volet Référentiel Régional Pédologique. *Etude et Gestion des Sols*, 21, pp. 125-140.
- Le Bas C., Schnebelen N., 2006 - Utilisation des données sols d'I.G.C.S. en France – Etat des lieux en 2006. *Etude et Gestion des Sols*, Vol. 13, 3, pp. 237-246.
- Lenfant A., 1989 - Référentiel Agronomique: les sols des Pays de la Loire. *Chambre d'Agriculture des Pays-de-la-Loire*. 327 p.
- Logeais A., 1993 - Atlas agronomique du Limousin. *Chambre d'Agriculture du Limousin*. 99 p.
- Lopes D., Giraud M., Hipeau C., Guiverteau M., Peloquin T., Blanchard L., Cam C., Fort J.-L., 2011 - Guide des sols pour l'amélioration de l'eau, 20 p.
- Machet J.M., Dubrulle P., Damay N., Duval R., Recous S., 2007 - Présentation et mise en œuvre d'AzoFert®, nouvel outil d'aide à la décision pour le raisonnement de la fertilisation azotée des cultures. *Comifer - Gemas 8^{es} rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse*. Blois, 20-21 Nov.
- Moulin J., Dupont J., Servant J., 1992 - Les terres de Champagne Berrichonne. *Typologie des sols agricoles et forestiers*. *Chambres d'Agriculture de l'Indre et du Cher*, 64 p.
- Moulin J., Eimberck M., 2011 - La cartographie des sols de l'Indre pour des applications thématiques diversifiées. *Etude et Gestion des Sols*, Vol. 18, 2, pp. 75-89.
- Party J.P., Koller R., 1999) – Guide des sols d'Alsace: Plaine Centre-alsace (première édition), *Chambre Régionale d'Agriculture*, 145 p.
- Querin D., 2015 - Analyse de données du GIS Sol - rapport de stage. 46 p.
- Schvartz C., Six P., Février D., Grenier G., 1988 - ABC des sols du département du Nord. *Chambre d'agriculture du Nord-Pas-de-Calais, ISAL*, 32 p.
- Roman Dobarco M., Cousin I., Le Bas C., Martin M., 2019 - Pedotransfer functions for predicting available water capacity in French soils, their applicability domain and associated uncertainty. *Geoderma*, 336, pp. 81-95.
- Soudière M.-L., Sauter J., Koller R., 2011 - Recensement des outils d'analyses sols-dépendant et étude des référentiels sols. *Rapport de stage de fin d'étude, niveau M2*. Strasbourg. (p. 70 -
- Studer R., 1984 - Carte des sols: exemple du Centre. *Cultivar*, numéro 171, pp.97-99.
- Tetegán M., Nicoulaud B., Baize D., Bouthier A., Cousin I., 2011 - The contribution of rock fragments to the available water content of stony soils: Proposition of new pedotransfer functions. *Geoderma*, 165(1), 40–49. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.07.001>

