

Conception d'un modèle d'évaluation multicritère des effets du travail du sol

Stage de fin d'études d'Ingénieur INP-ENSAT réalisé par Claire Thibault.

Encadrement : Frédérique Angevin (INRA)

Co-encadrement : N. Cavan (GIS GC HP2E), J. Labreuche et P. Métais (ARVALIS - Institut du végétal)

Contexte et problématique

Le travail du sol modifie les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol en créant de la porosité et en incorporant des matières organiques (Labreuche et al., 2014). Ces opérations nécessitent de la main d'œuvre avec un temps de traction et un coût énergétique liés à l'outil, à la profondeur de l'opération et au contexte (nature du sol, pente). La caractéristique la plus utilisée pour catégoriser les opérations de travail du sol est le retournement de la couche de sol travaillée. L'appréciation/comparaison des performances de telle ou telle stratégie de travail du sol fait débat en raison de la difficulté d'évaluer simultanément la diversité de leurs impacts et de leurs bénéfices dans des domaines variés (dont les importances relatives peuvent différer selon les acteurs considérés).

La France est un leader européen en Techniques Culturales Sans Labour (TCSL) avec 35 % de ses surfaces en TCSL en 2010 contre 26 % en moyenne dans l'UE. La part des surfaces en TCSL a fortement progressé en France jusqu'en 2006, avant de stagner entre 2006 et 2011 (20,5 % en 2001, 33 % en 2006 et 35 % en 2011 — Fig. 1). L'adoption des TCSL est très hétérogène selon les cultures et les régions (Fig. 1 & 2).

Une première synthèse des connaissances sur le travail du sol et ses effets sur le système de culture a été réalisée dans le cadre d'un séminaire réunissant les spécialistes du sujet en 2012, puis d'un colloque organisé en 2014 par le GIS GC HP2E. Les enseignements de ce colloque ont été rassemblés dans un livre, *Faut-il travailler le sol ?* publié la même année. L'étude réalisée dans le stage s'inscrit dans la continuité de ce projet et a pour objectif, dans un premier temps, de **capitaliser cette expertise scientifique et de la compléter grâce à la consultation d'autres spécialistes.**

Notre problématique est d'élaborer une **méthode d'évaluation multicritère des effets du choix du travail du sol sur les performances des systèmes de culture.** Cette méthode doit permettre de comparer des systèmes en fonction des priorités de l'utilisateur et des contraintes contextuelles.

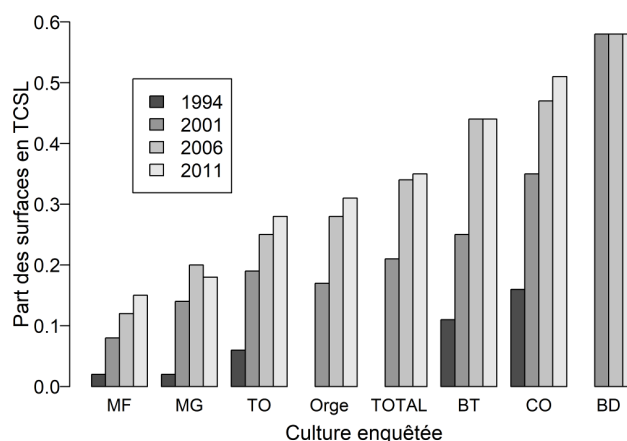


Figure 1 : Evolution de la part des surfaces en TCSL en France pour les principales grandes cultures. Sources : Agreste—Pratiques culturales 1994, 2001, 2006, 2011

MF : maïs fourrage. MG : maïs grain. TO : tournesol.
 BT : blé tendre. CO : colza. BD : blé dur.

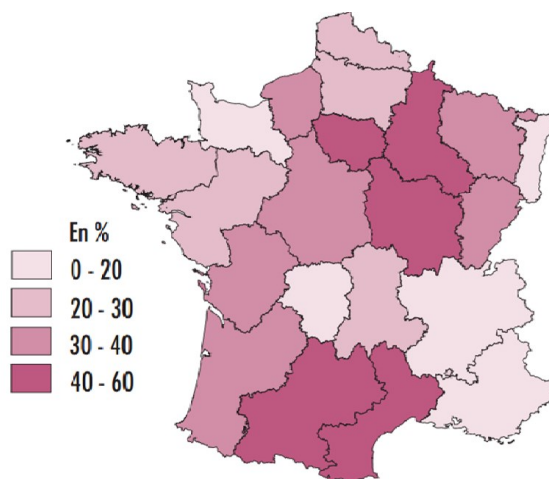


Figure 2 : part des surfaces en Techniques Culturales Sans Labour par région administrative. Source : Agreste — Pratiques Culturales 2011



La méthode d'évaluation DEX

Le choix du travail du sol est un problème multidimensionnel, multi-enjeux et dépendant du contexte qui nécessite une **méthode d'analyse multicritère**.

Le SdC a été considéré comme étant une échelle pertinente pour évaluer les innovations et les changements de pratiques en agriculture. Le **logiciel DEXi**, basé sur la méthode DEX, s'est révélé pertinent pour l'évaluation de performances de SdC comme par exemple la durabilité avec l'outil MASC. Ce logiciel facilite la décomposition d'un problème décisionnel complexe en plusieurs sous problèmes plus faciles à résoudre.

Evaluer un SdC selon les pratiques, la rotation et le contexte

L'arbre principal a été construit avec trois experts en travail du sol participant au groupe « Gestion durable des sols » du GIS et ayant une bonne connaissance des travaux préalables (Labreuche et al., 2014) ainsi qu'un expert en évaluation multicritère. Une première étape a consisté à sélectionner les critères d'intérêts, à les hiérarchiser, à définir leurs échelles et à les pondérer, en suivant les recommandations pour maximiser la sensibilité du modèle (Carpani et al., 2012).

La multiperformance se décompose en trois performances. Les performances **socio-économiques** évaluent la capacité du SdC à assurer un certain confort de vie à l'agriculteur (gain de temps, d'argent) ainsi que l'investissement qu'il implique (technicité, charges). Les **performances agronomiques** évaluent la capacité du SdC à être résilient, c'est-à-dire à maintenir la par-

Il permet d'agrèger plusieurs critères en un arbre, les agrégations se faisant selon des règles du type « si... alors... ». Chaque critère est caractérisé par une échelle de classes (bon/moyen/mauvais). Le recours à de telles variables qualitatives permet d'agrèger l'information de critères ayant des unités différentes. La décomposition transparente et structurée permet une visibilité complète pour discuter des effets du travail du sol selon le contexte et les préférences de l'utilisateur.

Il est possible de décrire plusieurs alternatives et de les comparer sous DEXi.

celle productive à long terme en dépit des aléas. Enfin, les **performances environnementales** évaluent les interactions du SdC avec son environnement.

Ces trois performances sont elles-mêmes décomposées jusqu'à des critères plus facilement évaluables : les critères basiques. L'utilisateur renseigne les classes des critères basiques en entrée du modèle. Il peut pour cela s'aider du **guide pratique de DEXISOL**. Ensuite, le logiciel note les critères agrégés jusqu'à la multiperformance suivant les règles de décision définies. Pour l'arbre principal, les règles de décision ont été établies automatiquement à partir de pondérations attribuées aux critères agrégés par les quatre experts. Ces pondérations sont flexibles et adaptables selon les préférences de l'utilisateur, le contexte local ou encore la disponibilité des données.

Renseigner les critères en entrée du modèle : indicateurs

Les critères basiques de l'arbre principal peuvent être renseignés :

- par **expertise** (la plupart d'entre eux) avec la proposition d'une méthode d'évaluation alternative,
- par **indicateurs quantitatifs** comme des résultats chiffrés (8 critères) ou le score d'une grille de notation (6 critères) et enfin
- par **indicateurs qualitatifs** comme le résultat d'un arbre satellite (15 critères). Un arbre satellite est un sous-modèle développé sous DEXi et qui re-décompose un critère basique en sous-critères plus facilement évaluables. Si l'on déploie tous les arbres satellites du modèle, il faut renseigner 75 critères en entrée au lieu de 30.

21 spécialistes de l'INRA, d'ARVALIS, de l'ISARA, d'AREAS ou encore d'Agro-Transfert ont été sollicités individuellement ou en comité restreint pour élaborer les indicateurs des critères basiques, en entrée de l'arbre principal. Ces indicateurs rendent compte des effets des pratiques, de la rotation et du contexte pour les différentes thématiques abordées. Les indicateurs ont été soit repris de modèles préexistants, soit adaptés, soit spécialement construits pour DEXISOL.

Des fiches (exemple ci-dessous) permettent d'accéder à une description des indicateurs de chaque critère avec les explications et les décisions de modélisation prises lors des entretiens, ainsi que les références utilisées.

DEXISOL : Nom du critère
Noms des spécialistes consultés | 2017

Description du critère
Pour ce critère, on mesure l'impact de l'usage de l'azote (N) qui est assimilé par les plantes. On mesure la quantité de N disponible dans le sol (Ndis) par le système racinaire des plantes. On mesure la quantité de N disponible dans le sol (Ndis) par le système racinaire des plantes. On mesure la quantité de N disponible dans le sol (Ndis) par le système racinaire des plantes.

Présentation arbre satellite
Maitrise parties aériennes en azote
Maitrise parties dans les eaux profondes par l'irrigation
Maitrise l'irrigation
Maitrise des pesticides dans le sol
Application de produits phytosanitaires
Capacité du système à décomposer les concentrations transférables
Intensification par cultures intermédiaires
Capacité du sol à retenir les molécules
Maitrise du travail mécanique du sol
Effet du travail du sol
Effet période d'application
Maitrise parties dans les eaux superficielles par ruissellement
Maitrise érosion
Maitrise l'irrigation

b) Indicateur pour critère 2
Ce critère est évalué à partir de données quantitatives ou de données qualitatives. On peut renseigner ce critère à l'aide d'une échelle de notation ou d'une échelle de notation.

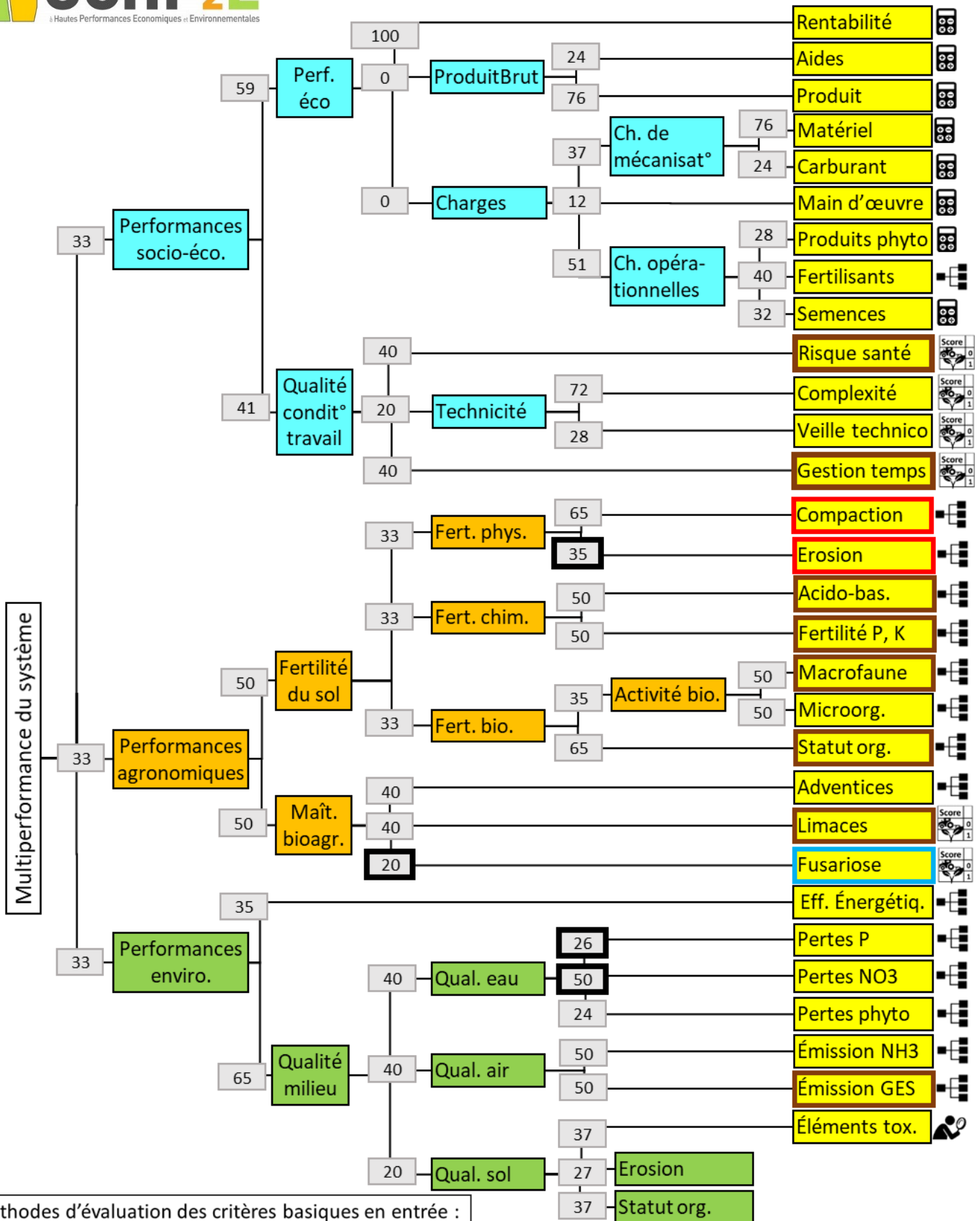
Classe	6 < IFT	03 < IFT < 11	01 < IFT < 03
élevée	45 IFT < 60	03 < IFT < 11	01 < IFT < 03
intermédiaire	IFT < 45	01 < IFT < 03	01 < IFT < 03
faible	IFT < 45	01 < IFT < 03	01 < IFT < 03

C. Agrégation
Description de la structure du sol. Description de la structure du sol. Description de la structure du sol.

A. Choix des critères
Le choix des critères est basé sur les besoins des utilisateurs et les connaissances des experts. Les critères sont regroupés en trois catégories : socio-économiques, agronomiques et environnementales.

B. Choix des indicateurs
a) Indicateur pour critère 1

D. BIBLIOGRAPHIE
Bibliographie des références utilisées pour la construction du modèle. Les références sont regroupées par thème.



Méthodes d'évaluation des critères basiques en entrée :

Expertise →

Indicateur quantitatif → Résultat chiffré, calcul simple

→ Score, note grille d'évaluation

Indicateur qualitatif → Résultat d'arbre satellite ou autre modèle

Prise en compte du contexte :

- via les critères

climat sol pédoclimat

- via les pondérations (en gras)

Evaluation du modèle sur les essais travail du sol de Boigneville

Analyse de cohérence des méthodes d'évaluation

Afin d'évaluer la cohérence des résultats fournis par le modèle, celui-ci a été appliqué aux 9 modalités mises en place sur les essais travail du sol de Boigneville (qui croisent trois types de travail du sol — labour, travail superficiel et semis direct — et trois rotations). Les résultats obtenus par le modèle ont été comparés aux résultats observés expérimentalement pour six critères basiques et quatre critères utilisés dans les arbres satellites.

La concordance est satisfaisante pour 4 des 6 critères basiques testés (charges en fertilisants, efficacité énergétique, limitation des émissions de GES et maîtrise de la présence des limaces) et les quatre critères présents dans les arbres satellites. Elle est moins satisfaisante pour l'estimation de la maîtrise du risque de compaction du sol et mauvaise pour la maîtrise des adventices (le modèle sous-estime la capacité des systèmes de culture à maîtriser les adventices dans la plupart des cas).

Premiers résultats de simulations

DEXiSol a permis de classer les modalités de l'essai de Boigneville en fonction de la rotation culturale, mais pas en fonction du type de travail du sol. Ce résultat semble cohérent avec les nombreux effets du travail du sol sur les systèmes de culture et leurs antagonismes présentés en introduction, et ce d'autant plus que les pondérations du modèle pour cette simulation ont été équilibrées (aucun a priori n'a été appliqué sur les performances prioritaires pour l'utilisateur).

Les différences entre types de travail du sol sont visibles aux niveaux d'agrégation inférieurs, et on ob-

serve bien l'antagonisme entre modalités de travail du sol qui ont chacune leurs points forts et leurs points faibles pour les performances agronomiques (Fig. 3) en prenant l'exemple de la rotation longue de l'essai de Boigneville : la modalité labourée est plus performante pour la maîtrise des bioagresseurs et de la fertilité physique du sol. A l'inverse, le travail superficiel et le semis direct sont plus performants pour leur contribution à l'activité biologique des sols.

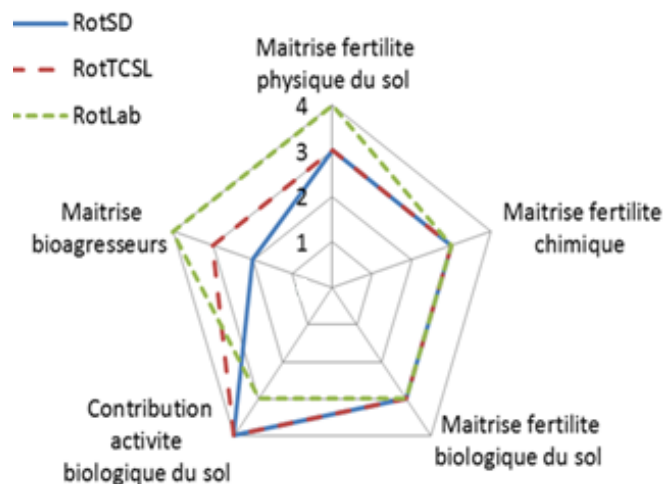


Figure 3 : sous-performances agronomiques évaluées par DEXiSol pour la rotation longue de l'essai de Boigneville (betterave-blé-pois-orge).

1 : très faible. 2 : faible à moyenne. 3 : moyenne à élevée. 4 : très élevée

Perspectives

Ce travail d'analyse de cohérence des méthodes d'évaluation de chaque critères devrait être poursuivi pour l'ensemble des critères, en mobilisant d'autres résultats d'essais ainsi que des experts, en élargissant le cercle des personnes mobilisées. Une analyse de sensibilité du modèle sera également à réaliser sur l'ensemble du modèle. Le manque de sensibilité du modèle pourrait expliquer en partie les incohérences constatées sur l'évaluation de la gestion des adventices.

Une fois ces étapes réalisées, ce modèle constituera un outil intéressant pour appuyer une réflexion collective sur le choix d'une méthode de travail du sol et ses effets sur le système de culture.

Les arbres satellites pourraient également servir à améliorer l'évaluation de certains critères d'autres modèles d'évaluation multicritères, comme MASC2.0.

Bibliographie

- Labreuche J., Laurent F., Roger-Estrade J., 2014. Faut-il travailler le sol ? Acquis et innovations pour une agriculture durable. Versailles : Editions Quae.
- Carpani M., Bergez J-E., Monod H., 2012. Sensitivity analysis of a hierarchical qualitative model for sustainability assessment of cropping systems. *Environmental Modelling & Software*, 27-28, pp 15-22.