



HAL
open science

Des méthodes bêches dérivées de la méthode du profil cultural

Josephine Peigné, Stéphane Cadoux, Pascale Métais, Jean-François Vian

► **To cite this version:**

Josephine Peigné, Stéphane Cadoux, Pascale Métais, Jean-François Vian. Des méthodes bêches dérivées de la méthode du profil cultural. *Agronomie, Environnement & Sociétés*, 2019, 9 (2), pp.87-93. hal-04103270

HAL Id: hal-04103270

<https://isara.hal.science/hal-04103270v1>

Submitted on 23 May 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 - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License

Agronomie

environnement & sociétés



La revue de l'association française d'agronomie

**Démarches cliniques
en agronomie
et outils pour les agriculteurs
Et leurs conseillers**

Agronomie, Environnement & Sociétés

Revue éditée par l'Association française d'agronomie (Afa)

Siège : 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris Cedex 05.
Secrétariat : 2 place Viala, 34060 Montpellier Cedex 2.
Contact : afa@inrae.fr, T : (00-33)4 99 61 26 42, F : (00-33)4 99 61 29 45
Site Internet : <http://www.agronomie.asso.fr>

Objectif

AE&S est une revue en ligne à comité de lecture et en accès libre destinée à alimenter les débats sur des thèmes clefs pour l'agriculture et l'agronomie, qui publie différents types d'articles (scientifiques sur des états des connaissances, des lieux, des études de cas, etc.) mais aussi des contributions plus en prise avec un contexte immédiat (débats, entretiens, témoignages, points de vue, controverses) ainsi que des actualités sur la discipline agronomique.

ISSN 1775-4240

Contenu sous licence Creative commons



Les articles sont publiés sous la *licence Creative Commons 2.0*. La citation ou la reproduction de tout article doit mentionner son titre, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue AE&S et de son URL, ainsi que la date de publication.

Directeur de la publication

Antoine MESSÉAN, président de l'Afa, Ingénieur de recherches, Inra

Rédacteur en chef

Olivier RÉCHAUCHÈRE, chargé d'études Direction de l'Expertise, Prospective & Etudes, Inra

Membres du bureau éditorial

Christine RAWSKI, Rédactrice en chef Cahiers Agricultures, Cirad
Guy TRÉBUIL, chercheur Cirad
Philippe PRÉVOST, Chargé des coopérations numériques à Agreenium
Danielle LANQUETUIT, consultante Triog et webmaster Afa

Comité de rédaction

- Marc BENOÎT, directeur de recherches Inra
- Héloïse BOURREAU, ingénieure à la Bergerie de Villarceaux
- Camille DUMAT, enseignante chercheuse à l'ENSAT/INPT
- Thierry DORÉ, professeur d'agronomie AgroParisTech
- Yves FRANCOIS, agriculteur
- Jean-Jacques GAILLETON, inspecteur d'agronomie de l'enseignement technique agricole
- Laure HOSSARD, ingénieure de recherche Inra Sad
- Marie-Hélène JEUFFROY, directrice de recherche Inra et agricultrice
- Aude JOMIER, enseignante d'agronomie au lycée agricole de Montpellier
- Christine LECLERCQ, professeure d'agronomie Institut Lassalle-Beauvais
- Francis MACARY, ingénieur de recherches Irstea
- Antoine MESSEAN, Ingénieur de recherches, Inra
- Adeline MICHEL, Ingénieure du service agronomie du Centre d'économie rurale de la Manche
- Marc MIQUEL, consultant
- Bertrand OMON, Chambre d'agriculture de l'Eure
- Thierry PAPILLON, enseignant au lycée agricole de Laval
- Philippe POINTEREAU, directeur du pôle agro-environnement à Solagro
- Philippe PRÉVOST, Chargé des coopérations numériques à Agreenium
- Bruno RAPIDEL, Cirad
- Jean-Marie SERONIE, consultant

Secrétaire de rédaction

Philippe PREVOST

Assistante éditoriale

Danielle LANQUETUIT

Conditions d'abonnement

Les numéros d'AE&S sont principalement diffusés en ligne. La diffusion papier n'est réalisée qu'en direction des adhérents de l'Afa ayant acquitté un supplément

(voir conditions à <http://www.agronomie.asso.fr/espace-adherent/devenir-adherent/>)

Périodicité

Semestrielle, numéros paraissant en juin et décembre

Archivage

Tous les numéros sont accessibles à l'adresse <http://www.agronomie.asso.fr/carrefour-inter-professionnel/evenements-de-lafa/revue-en-ligne/>

Soutien à la revue

- En adhérant à l'Afa via le site Internet de l'association (<http://www.agronomie.asso.fr/espace-adherent/devenir-adherent/>). Les adhérents peuvent être invités pour la relecture d'articles.
- En informant votre entourage au sujet de la revue AE&S, en disséminant son URL auprès de vos collègues et étudiants.
- En contactant la bibliothèque de votre institution pour vous assurer que la revue AE&S y est connue.
- Si vous avez produit un texte intéressant traitant de l'agronomie, en le soumettant à la revue. En pensant aussi à la revue AE&S pour la publication d'un numéro spécial suite à une conférence agronomique dans laquelle vous êtes impliqué.

Instructions aux auteurs

Si vous êtes intéressé(e) par la soumission d'un manuscrit à la revue AE&S, les recommandations aux auteurs sont disponibles à l'adresse suivante :

<http://www.agronomie.asso.fr/carrefour-inter-professionnel/evenements-de-lafa/revue-en-ligne/pour-les-auteurs/>

À propos de l'Afa

L'Afa a été créée pour faire en sorte que se constitue en France une véritable communauté scientifique et technique autour de cette discipline, par-delà la diversité des métiers et appartenances professionnelles des agronomes ou personnes s'intéressant à l'agronomie. Pour l'Afa, le terme agronomie désigne une discipline scientifique et technologique dont le champ est bien délimité, comme l'illustre cette définition courante : « *Etude scientifique des relations entre les plantes cultivées, le milieu [envisagé sous ses aspects physiques, chimiques et biologiques] et les techniques agricoles* ». Ainsi considérée, l'agronomie est l'une des disciplines concourant à l'étude des questions en rapport avec l'agriculture (dont l'ensemble correspond à l'agronomie au sens large). Plus qu'une société savante, l'Afa veut être avant tout un carrefour interprofessionnel, lieu d'échanges et de débats. Elle se donne deux finalités principales : (i) développer le recours aux concepts, méthodes et techniques de l'agronomie pour appréhender et résoudre les problèmes d'alimentation, d'environnement et de développement durable, aux différentes échelles où ils se posent, de la parcelle à la planète ; (ii) contribuer à ce que l'agronomie évolue en prenant en compte les nouveaux enjeux sociétaux, en intégrant les acquis scientifiques et technologiques, et en s'adaptant à l'évolution des métiers d'agronomes.

Lisez et faites lire AE&S !

Sommaire

P-7- Avant-propos

A. MESSÉAN (Président de l'Afa) et O. RÉCHAUCHÈRE (Rédacteur en chef)

P-9- Éditorial

P. PRÉVOST, H. BOIZARD, F. KOCKMANN, B. OMON et T. PAPILLON (coordonnateurs du numéro)

Mise en perspective des démarches cliniques en agronomie

P15- La démarche clinique en agronomie : sa mise en pratique entre conseiller et agriculteur

F. KOCKMANN, A. POUZET, B. OMON, L. PAVARANO et M. CERF

P27- Vers un diagnostic agronomique stratégique intégrant les enjeux environnementaux : mener l'enquête pour piloter le système de culture sur le temps long

M. CERF, V. PARNAUDEAU et R. REAU

P39- IDEA4 : une méthode de diagnostic pour une évaluation clinique de la durabilité en agriculture

F. ZAHM, J.M. BARBIER, S. COHEN, H. BOUREAU, S. GIRARD, D. CARAYON, A. ALONSO UGAGLIA, B. DEL'HOMME, M. GAFSI, P. GASSELIN, L. GUICHARD, C. LOYCE, V. MANNEVILLE et B. REDLINGSHÖFER

Les outils de diagnostic de la qualité des sols : du profil cultural aux méthodes et outils actuels

P55- Les méthodes visuelles d'évaluation de la structure du sol au service d'une démarche clinique en agronomie

H. BOIZARD, J. PEIGNE, J.F. VIAN, A. DUPARQUE, V. TOMIS, A. JOHANNES, P. METAIS, M.C. SASAL, P. BOIVIN et J. ROGER-ESTRADE

P77- Apprentissage et pratique du test bêche VESS par application mobile

A. JOHANNES, K. GONDRET, A. MATTER et P. BOIVIN

P81- Evaluer visuellement la structure à l'échelle de l'échantillon : méthode et exemple d'application

A. JOHANNES et P. BOIVIN

P87- Des méthodes bêches dérivées de la méthode du profil cultural

J. PEIGNE, S. CADOUX, P. METAIS et J.F. VIAN

P95- L'utilisation de la méthode du profil cultural en Argentine : quel apport à la connaissance du fonctionnement des systèmes de culture ?

J.J. DE BATTISTA, M.C. SASAL

P99- La complémentarité de deux méthodes : le Profil Pénétrométrique Interpolé du SOL (PPIS) et le profil cultural en contexte de chantiers lourds

O. SUC et O. ANCELIN

P101- Témoignages sur l'utilisation et la complémentarité des méthodes visuelles d'évaluation de la structure du sol dans le cadre du projet Sol-D'Phy

V. TOMIS et A. DUPARQUE

La démarche clinique au service de l'évolution d'une technique culturale : la gestion des adventices

P105- La gestion durable de la flore adventice des cultures (B. CHAUVEL, H. DARMENCY et C. MUNIER-JOLAIN et A. RODRIGUEZ, coordonnateurs, Ed. QUAE, 2019)

P. PREVOST

P111- Du champ virtuel au champ réel – Ou comment utiliser un modèle de simulation pour diagnostiquer des stratégies durables de gestion des adventices et reconcevoir des systèmes de culture

N. COLBACH, S. CORDEAU, W. QUEYREL, T. MAILLOT, J. VILLERD, D. MOREAU

P131- utilisation du modèle FLORSYS comme outil d'aide à la conception de systèmes de culture innovants performants pour la gestion durable des adventices : exemple d'un groupe DEPHY Ferme de l'Eure

N. CAVAN, B. OMON, N. COLBACH, F. ANGEVIN

P145- Agriculteurs et conseillers, réunis autour d'une source karstique, actionnent l'agronomie avec pragmatisme

A. HERMANT, A. FAIVRE, V. LE MOING, C. DIVO, V. LAVILLE

P153- Le stock de semences adventices peut-il être utilisé dans les études de terrain sur l'effet des systèmes de culture

I. MAHE, D. DERROUCH, E. VIEREN, B. CHAUVEL

D'autres expériences de terrain illustrant des démarches cliniques en agronomie

P163- Les essais systèmes, support pour accompagner le changement des pratiques

P. HUET et L. GUILLOMO

P169- La végétation des bordures de parcelles agricoles, des espaces importants pour le contrôle biologique

A. POLLIER, A. BISCHOFF, M. PLANTAGENEST, Y. TRICAULT

P175- Vers une gestion adaptée des prairies multi-espèces et une maximisation du pâturage dans les systèmes herbagers du sud-ouest de la France

X. BARAT

Varia

P187- Indésirables, tolérées, revendiquées : à chacun ses plantes messicoles. Perceptions des acteurs du monde agricole vis-à-vis des plantes des moissons

R. GARRETA, B. MORISSON, J. CAMBACEDES et A. RODRIGUEZ

Notes de lecture

P195- Les typologies agronomiques des sols, indispensables pour valoriser les référentiels régionaux en pédologie

F. KOCKMANN

P199- Agroecosystem diversity: reconciling contemporary agriculture and environmental quality

J. BOIFFI



Des méthodes bêches dérivées de la méthode du profil cultural

Joséphine Peigné¹, Stéphane Cadoux², Pascale Métais³ et Jean-François Vian¹

¹ ISARA Lyon, 23 rue Jean Baldassini 69364 Lyon cedex 7 jpeigne@isara.fr

² Terres Inovia, Avenue Lucien Brétignières, 78850 Thiverval-Grignon s.cadoux@terresinovia.fr

³ ARVALIS Institut du végétal, 2 Rue Henri Mondor, Biopôle Clermont Limagne, 63360 Saint beuzire P.METAIS@arvalisinstitutduvegetal.fr

Contexte

La méthode proposée adaptée du profil cultural consiste en l'observation de l'état structural sur un bloc de sol prélevé avec une bêche. Elle a été développée en France dans un premier temps pour l'enseignement agricole. En effet, il est apparu que les élèves ingénieurs souhaitaient disposer d'une méthode d'observation des sols à mettre en œuvre dans les exploitations agricoles où ils réalisaient leur stage. Le profil cultural posant souci en raison des conditions de sa réalisation (fosse large et profonde), les enseignants de l'ISARA (Yvan Gautronneau, Joséphine Peigné et Jean-François Vian) ont développé une méthode simplifiée du profil cultural sous la forme d'une méthode bêche.

L'ambition est de proposer un outil de suivi simplifié de la structure du sol pouvant être appliqué tout au long du cycle cultural, qui permet de juger de l'effet de la structure du sol sur les performances d'une culture. Le cahier des charges de cette méthode comprend : une validation scientifique, une réalisation rapide, une accessibilité à tous avec une possibilité de répétition afin d'apprécier la variabilité au sein d'une parcelle et d'une année sur l'autre. Un diagnostic rapide est ainsi établi afin de juger de la nécessité d'observations ou analyses plus approfondies (ex. réalisation d'un profil cultural). Étant spécialistes de la méthode du profil cultural, nous avons décidé de garder certains critères d'observation de cette méthode : mode d'assemblage et porosité structurale des mottes – (Cf article de Boizard et al. dans ce numéro). Ces derniers sont, d'une part, validés scientifiquement et d'autre part sont associés à des modes de fonctionnement du sol parlant pour les agriculteurs (pénétration des racines, stockage et circulation de l'eau dans le sol).

Suite à cette première ébauche de méthode, nous avons poursuivi nos travaux pour la développer et la valider au cours de deux projets CASDAR. Elle a été déployée dans des stations expérimentales en

Agriculture Biologique (AB) en grande culture, maraîchage, viticulture et arboriculture (projet SOLAB). L'objectif était

d'une part de comparer les résultats obtenus avec des mesures quantitatives (masse volumique, résistance à la pénétration) et qualitatives (profil cultural) ; et d'autre part de valider les conditions d'utilisation de cette méthode dans différents systèmes de production, régions pédoclimatiques et avec de nombreux observateurs (conseillers AB). Nous l'avons ensuite déployé avec Jean-François Vian auprès de 250 agriculteurs en France lors du projet AGRINNOV en grandes cultures et viticulture. Ceci nous a permis de progresser dans la conception de cette méthode et de valider son utilité auprès des professionnels. La méthode bêche est maintenant répandue et utilisée en France, nous en avons publié un guide (Peigné et al., 2016).

La méthode bêche ISARA

Descriptif de la méthode

La méthode de prélèvement est celle d'une méthode bêche classique (cf. Figure 1) : extraction d'un bloc de sol, observation des horizons puis de l'état structural (Ball et al., 2007).

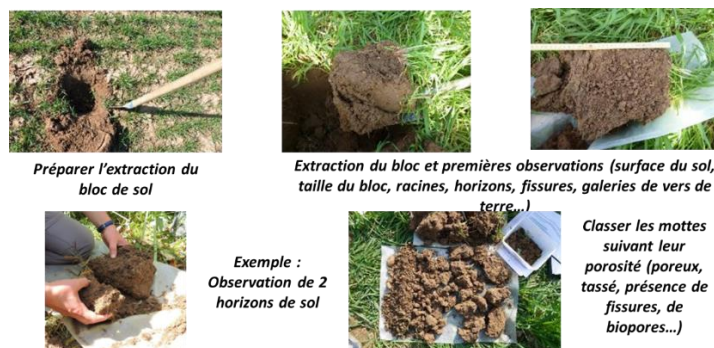


Figure 1 : les étapes d'observation d'un bloc de sol (méthode bêche).

Sa principale particularité est d'évaluer l'état structural avec des critères issus du profil cultural. En effet, le profil cultural propose des critères à deux niveaux d'observation : l'organisation de la phase solide du sol (critère mode d'assemblage) et ensuite la description de l'espace poral (critère porosité structurale ou visible à l'œil). Le mode d'assemblage est rarement décrit dans les méthodes bêches existantes, or sa description renseigne sur l'infiltration de l'eau ou la pénétration racinaire en profondeur. Pour cela, un système 'expert' a été mis en place (cf. figure 2). Il guide pas-à-pas l'utilisateur pour définir le mode d'assemblage des mottes et la porosité structurale dominante dans chaque horizon du bloc.

La figure 2 illustre la démarche mise en place, basée sur un système expert. Dans un premier temps, nous suivons un arbre de décision (cf. partie gauche de la figure 2, en ligne) pour déterminer le mode d'assemblage de la bêchée. Pour ce faire, nous observons la tenue du bloc de sol extrait, et s'il se tient, l'apparition de fissures, puis quand on le pose sur la bêche, l'apparition de sous-blocs. Cela nous permet de distinguer deux modes d'assemblage, soit l'état continu C plus ou moins fissuré (CR – 1 fissure ou sous bloc et C2R- plusieurs fissures et sous blocs) et l'état ouvert O. L'état C correspond à des éléments (mottes, agrégats) soudés entre eux, peu discernables, donc un certain tassement du sol. Toutefois, des fissures peuvent apparaître dans cet état. Elles sont observées sur la bêchée lors de son extraction, puis sur la bêche

sous forme de sous blocs. Elles proviennent le plus souvent d'action du climat et de travaux du sol. L'état O caractérise, quant à lui, un sol où les éléments sont facilement discernables les uns des autres, et donc ne tiennent pas sur la bêche lors de l'extraction. Pour simplifier l'interprétation avec le système expert, le mode d'assemblage bloc (B), utilisé dans le profil cultural pour décrire une bande de labour peu émiettée, n'est pas utilisé. L'état B correspond à un ensemble de sous-blocs (grosses mottes > 10 cm) résultant de la fragmentation d'un bloc delta et qui se transforme en sous-blocs avec vides et éventuellement terre fine. Nous ne l'avons pas distingué de l'état O dans la mesure où les éléments sont discernables.

Une fois caractérisé le mode d'assemblage, nous déterminons la dominance en % de terre fine et des différents états internes de mottes (cf. partie droite de la figure 2, en colonne). Pour les mottes, nous distinguons trois types d'état interne de la de porosité structurale : (1) les mottes d'état interne Γ , soit des mottes avec beaucoup de porosité visible à l'œil, (2) des mottes d'état interne Δ , soit des mottes lisses sans porosité visible à l'œil, et (3) des mottes d'état interne

delta b, qui regroupe les mottes d'état interne phi (fissuration due à l'action du climat), et les états b1 (présence de galeries de vers de terre) et b2 (présence de bioturbation) telles que décrites dans le profil cultural (Boizard *et al.*, 2017). Nous avons fait le choix de les regrouper pour simplifier la description, tout en gardant un état interne intermédiaire entre les mottes Γ et Δ . Ainsi l'état delta b correspond à une motte présentant une surface lisse et aplanie, caractéristique d'un tassement, mais avec des macroporosités, signe d'une possible régénération de la porosité du sol par l'action soit du climat, soit des agents biologiques.

Ensuite, nous croisons les résultats des modes d'assemblage et la dominance d'états internes des mottes, pour déterminer un degré de tassement. Ainsi, pour aider l'utilisateur dans sa prise de décision, le diagnostic final est une classe de tassement : de 1 (aucun tassement) à 5 (tassement sévère) (cf. Figure 2). A partir de 3, il est conseillé de réaliser un profil cultural afin d'affiner le diagnostic et de décider s'il faut ou non entreprendre des actions de restauration de la structure du sol.

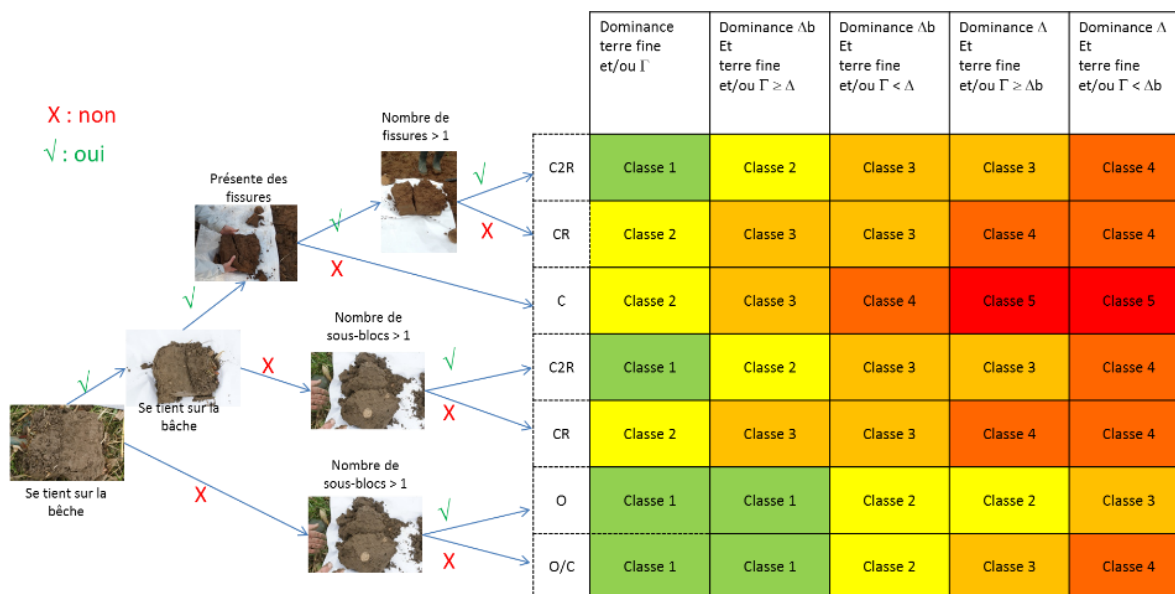


Figure 2 : Diagnostic et interprétation de la méthode bêche ISARA Lyon

Validité de la méthode bêche

Validité scientifique

Comme évoqué en introduction, nous avons comparé la méthode bêche ISARA avec le profil cultural, la méthode bêche VESS (Ball *et al.*, 2007) et un paramètre physique, la résistance du sol à la pénétration. Le tableau 1 montre les scores obtenus avec les méthodes bêche ISARA et VESS pour quatre

itinéraires de travail du sol mis en œuvre dans un essai de longue durée en France (Peigné *et al.*, 2018). Globalement, la méthode bêche ISARA montre que le sol est plus tassé en travail sans labour (travail superficiel et très superficiel) comparé aux sols avec labour, et cela est dû principalement à des tassements sous l'horizon issu des travaux superficiels, soit de 7 à 30 cm. On peut l'observer sur la figure 3 qui illustre les blocs de sol prélevés pour les quatre techniques de travail du sol.

Scores	Labour traditionnel 30 cm	Labour Réduit 18 cm	Travail superficiel 15 cm Chisel	Travail très superficiel 5-7 cm Chisel
Horizon 1 (épaisseur en cm)	8	7	7	7
Méthode ISARA : Score 1	1	1	1	1
Méthode VESS : Score 1	1	1	1,1	1
Horizon 2 (épaisseur en cm)	22	15	11	21
Méthode ISARA : Score 2	2,8	2	1,8	3,1
Méthode VESS : Score 2	3,2	3,1	2,4	3,9
Horizon 3 (épaisseur en cm)	0	11	14	15
Méthode ISARA : Score 3		3	3,8	4
Méthode VESS : Score 3		3	4	4,5
Méthode ISARA : Score du bloc total	2,4 (a)	2,0 (a)	2,6 (ab)	2,7 (b)
Méthode VESS : Score du bloc total	2,6 (a)	2,6 (a)	2,8 (a)	3,3 (b)

Tableau 1 : Scores (de 1 pas tassé à 5 tassement sévère) obtenus avec la méthode bêche ISARA et la méthode VESS dans des parcelles d'essais comparant 4 techniques de travail du sol (mai 2015 sous blé, site de Thil).
Horizons 1, 2 et 3 correspondent aux couches de sol différenciées par les outils de travail du sol).
Des lettres différentes (a,b) signifient une différence significative (p.value< 0.05).

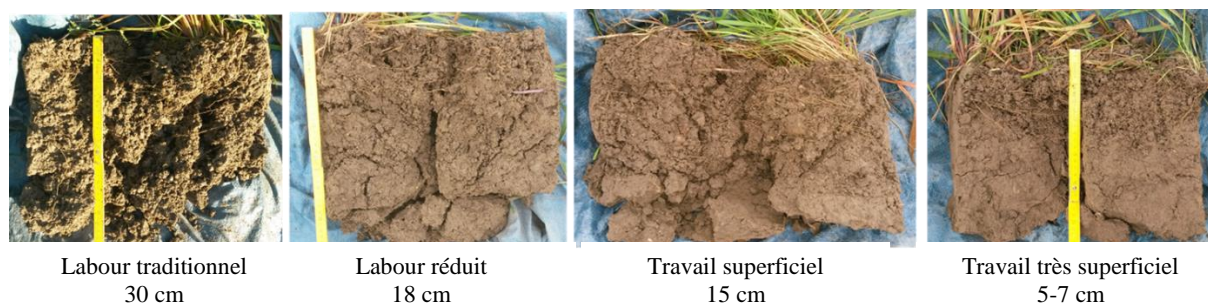


Figure 3 : Photos illustrant les bêchées obtenues dans des parcelles d'essais comparant 4 techniques de travail du sol (mais 2015 sous blé, site de Thil).

Les résultats obtenus avec la méthode bêche ISARA ont été comparés à ceux obtenus avec des profils culturaux (réalisés le même jour). Globalement, les deux techniques sans labour présentent bien plus de mottes sévèrement tassées (Δ), que les deux techniques avec labours (cf. Figure 4). La comparaison avec le test VESS montre que les ordres de grandeur de tassement sont proches, toutefois la méthode VESS est plus sévère que la méthode ISARA. Une explication vient de la prise en compte de fissuration dans le mode d'assemblage C avec la méthode bêche ISARA. Cela a tendance à diminuer le

'score' de tassement, considérant que le sol est continu mais la fissuration laisse pénétrer des racines ou de l'eau. Enfin, les mesures de résistance à la pénétration dans le sol (cf. Figure 5), montrent plus de résistance en sol non labouré (et plus particulièrement quand le sol n'est pas travaillé) qu'en labour. Cela va dans le sens d'un tassement dans les horizons non travaillés en non labour, comme diagnostiqué avec le test bêche ISARA dans les horizons 2 ou 3 (cf. tableau 1).

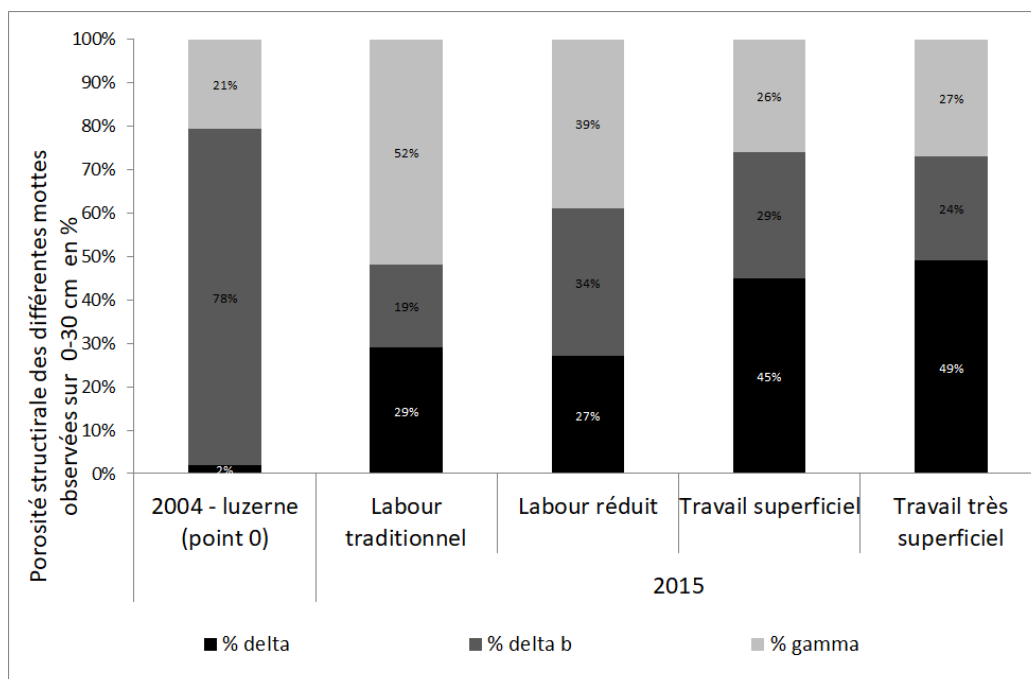


Figure 4 : % de mottes gamma, delta b (incluant les états b1/ b2) et delta observés dans les profils culturaux réalisés dans des parcelles d'essais comparant 4 techniques de travail du sol (mai 2015 sous blé, site de Thil) (D'après Peigné et al., 2018). labour traditionnel (30 cm, charrue), labour réduit (18-20 cm, charrue varie-large hors raie), travail superficiel (15 cm chisel), et travail très superficiel (5-7 cm, chisel).

Les 'scores' obtenus avec la méthode bêche ISARA sont en accord (même diagnostic de tassement) avec les résultats issus d'autres méthodes ou mesure physique. La seule réserve est liée à la profondeur de prélèvement des bêches. En effet, il est difficile de descendre très profond avec la méthode bêche, qui plus est quand le sol est tassé, on s'arrête

souvent autour de 20-25 cm de profondeur. Ainsi la proportion de sol tassé en profondeur n'est pas prise en compte, ce qui tend à rendre les méthodes bêches moins 'sévères' que l'observation du profil cultural ou l'utilisation d'une mesure physique. Il est ainsi recommandé de faire ces mesures complémentaires si on observe le début d'un tassement sévère en profondeur avec la méthode bêche.

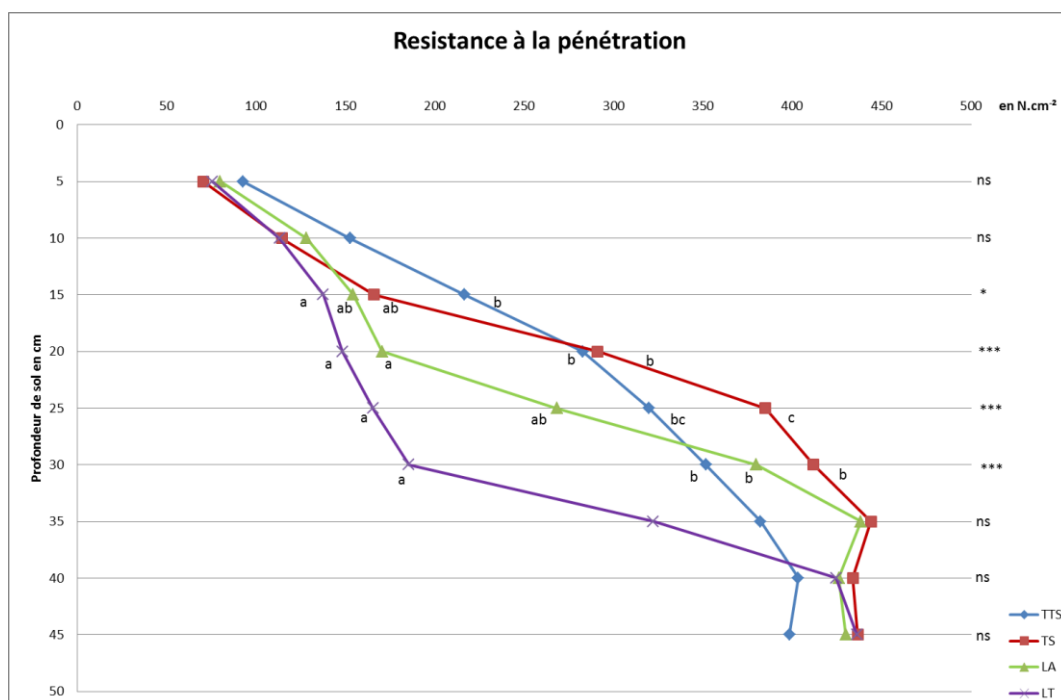


Figure 5 : Résistance du sol à la pénétration d'une tige dans des parcelles d'essais comparant 4 techniques de travail du sol (mai 2015 sous blé, site de Thil) (D'après Peigné et al., 2018).

LT : labour traditionnel (30 cm, charrue), LA : labour réduit (18-20 cm, charrue varie-large hors raie), TS : travail superficiel (15 cm chisel), et TTS : travail très superficiel (5-7 cm, chisel).

Des lettres différentes (a,b,c) signifient une différence significative (p.value < 0.05).

Validité d'usage

Dans le projet Agrinnov, nous avons déployé la méthode bêche ISARA auprès de 100 céréaliers et autant de viticulteurs dans toute la France. Cela nous a permis d'une part de reprendre la méthode pour la rendre plus facile d'utilisation, mais aussi de valider qu'elle peut être utilisée dans une large gamme de systèmes, sols et climats en France. Il ressort qu'elle est appréciée, surtout des céréaliers, les viticulteurs la trouvent intéressante pour évaluer l'état structural sous couvert dans l'inter-rang. L'évaluation par scoring (obtention d'une note de 1 à 5, avec 1 aucun tassement) est aussi appréciée. Toutefois beaucoup d'agriculteurs se font déjà une idée du tassement de leur sol avec la description en mode d'assemblage et proportion d'état interne des mottes.

Les limites à son utilisation sont : les sols trop caillouteux (plus de 50 %), les sols très secs et les sols très argileux en conditions humides. Dans ces conditions, le prélèvement et la description de la structure du sol sont pratiquement impossibles à réaliser : l'extraction du bloc ne peut se faire qu'en appliquant beaucoup de forces et en conséquence en modifiant la structure *in situ*. Une autre limite est le fait que la méthode est plutôt réservée à des praticiens, car elle demande une certaine expertise. Toutefois les agriculteurs ne le voient pas comme un défaut car ils trouvent intéressant de réaliser la méthode bêche à plusieurs pour discuter leurs observations. En pratique une formation de 1 à 2 heures sur le terrain avec un groupe d'agriculteurs permet de les familiariser à la méthode et associé avec le guide du test bêche le taux de retour et la qualité des observations réalisées par les agriculteurs est satisfaisante.

Suite à ces travaux, nous avons diffusé la méthode bêche ISARA auprès de collègues chercheurs, ingénieurs dans des instituts techniques ainsi qu'auprès de conseillers agricoles de terrain. Un guide a été réalisé en 2016 avec l'aide d'étudiants de l'ISARA (Peigné et al., 2016). Les collègues se sont emparés de la méthode, l'ont parfois modifiée pour l'adapter à leur problématique de travail. Dans la suite de cet encart, des collègues d'instituts techniques témoignent de leurs travaux autour de la méthode bêche adaptée du profil cultural.

La méthode bêche Terres Inovia. Adaptation de la méthode ISARA pour un usage spécifique : la prise de décision sur le travail du sol préalable à l'implantation d'un colza

Objectifs

L'implantation est une étape-clé de la réussite du colza. Or on se trouve dans un contexte de pression de plus en plus forte des ravageurs d'automne notamment et de l'apparition de résistances à la principale famille insecticide utilisée, les pyrèthrinoides. La levée précoce et la croissance dynamique et continue du colza à l'automne sont devenues alors indispensables pour obtenir un colza robuste à même de supporter les dégâts. Le travail du sol joue un rôle essentiel pour la réussite de l'implantation mais ses effets sont antagonistes. D'un côté il permet de fragmenter le sol et ainsi de sécuriser l'enracinement du pivot, condition essentielle à une croissance continue à l'automne (voir exemple photo 1). Il permet

également le contrôle des ravageurs du sol comme les limaces ou les rongeurs. Mais d'un autre côté, chaque opération de travail du sol contribue à assécher le sol et à stimuler la germination d'adventices et notamment de géraniums. Il y a donc intérêt à limiter le nombre et la profondeur des passages de travail du sol au strict nécessaire pour gérer (i) la structure du sol et (ii) les ravageurs du sol. Le diagnostic de la structure est alors une étape importante pour cette prise de décision.



Photo 1 : parcelle de colza hétérogène en début de floraison : les plantes avec pivot bien développés (ex. à gauche) sont saines et débutent leur floraison. Celles avec un pivot coudé (ex. à droite) sont touchées par des dégâts de larves d'insectes (plantes buissonnantes, nani-fifiées) et n'entrent pas en floraison.

Le diagnostic de la structure du sol doit idéalement être fait dans chaque parcelle qui va recevoir du colza et avant la récolte du précédent. Et pour qu'il soit mis en œuvre largement, par les agriculteurs notamment, la méthode doit être simple et rapide. Après avoir fait l'inventaire des méthodes existantes, nous avons décidé d'adapter la méthode bêche ISARA (Peigné et al., 2016). Nous avons en effet privilégié une méthode basée sur le mode de description de la structure du sol du profil cultural car nous sommes parfois amenés à utiliser, avec les mêmes agriculteurs, le profil cultural ou le mini profil 3D (voir exemple photo 2). Nous avons donc fait le choix de la cohérence de description.



Photo 2 : Diagnostic de la structure du sol dans des parcelles qui vont recevoir du colza avec les agriculteurs du réseau Berry. En haut : le diagnostic est fait avec la méthode du mini profil 3D chez un agriculteur équipé d'un chargeur télescopique. En bas : comme le plus souvent, le diagnostic est fait sur la base d'une méthode bêche.

Adaptation de la méthode bêche ISARA

Nous avons ensuite adapté la méthode bêche ISARA (i) pour intégrer les dernières avancées sur le développement de la méthode du profil cultural (Boizard et al., 2017) et (ii) pour la simplifier. En effet, l'arbre de décision de la méthode bêche ISARA conduit à se positionner sur sept modes d'assemblages et cinq 'dominances' de types de motte (cf. figure 2). Par expertise nous avons estimé que ce niveau de précision n'était pas nécessaire pour juger de l'impact sur l'enracinement du colza et par expérience qu'il fallait rendre la méthode plus simple d'apprentissage et plus rapide de mise en œuvre. Nous avons ainsi choisi de distinguer les trois principaux modes d'assemblage et les trois principaux états internes des mottes du profil cultural, à croiser pour obtenir un

conseil de travail du sol adapté (tableau 1). La démarche a ensuite été complétée pour intégrer les autres critères à considérer pour choisir le mode et l'outil de travail du sol adapté à chaque situation et aboutir à un arbre de décision (Sauzet et Cadoux, 2019).

Cette démarche a été testée et mise au point pendant quatre ans avec les agriculteurs du réseau Berry (Cadoux et al., 2019). Elle est désormais utilisée chaque année dans ce réseau car jugée utile et adaptée par les agriculteurs. Elle a été formalisée dans un « point technique » sur l'implantation du colza (Sauzet et Cadoux, 2019), afin de pouvoir être utilisée à grande échelle, pour contribuer à sécuriser les implantations et la réussite de la culture du colza.

		Etat interne des mottes		
		Poreux (Gamma Γ)	Fissuré (Phy Φ , lamellaire P)	Tassé (Delta Δ)
Etat général du bloc prélevé	Ouvert (terre fine)	Non travail possible	Non travail possible	Peu probable
	Bloc (mottes décimétrique)	Non travail possible	Sur 10-20 cm uniquement Non travail possible	Sur 0-10 cm uniquement Travail du sol préférable sur 0-10 cm
			Sur 0-10 cm Travail du sol préférable sur 0-10 cm	Sur 0-20 cm ou 10-20 cm Travail du sol préférable sur 0-20 cm
Continu (monobloc)	Situations rares de sol non travaillé depuis de nombreuses années fortement rattachés mais non tassés	Sur 0-10 cm uniquement Travail du sol préférable sur 0-10 cm	Sur 0-10 cm uniquement Travail du sol nécessaire sur 0-10 cm	
			Sur 0-20 cm ou 10-20 cm Travail du sol préférable sur 0-20 cm	Sur 0-20 cm ou 10-20 cm Travail du sol nécessaire sur 0-20 cm

Tableau 1 : interprétation des résultats de l'observation de la méthode bêche Terres Inovia (Sauzet et Cadoux 2019).

Appropriation de la méthode bêche ISARA par Arvalis Institut du Végétal : des usages variés

Utilisation dans des projets de recherche et développement : exemple de Microbioterre

L'objectif du projet Microbioterre est de référencer les indicateurs de microbiologie des sols liés aux fonctions de stockage de carbone et recyclage de l'azote, puis d'intégrer ces indicateurs dans l'analyse de terre de routine. Ceci doit permettre d'améliorer la gestion des restitutions organiques dans les systèmes de grandes cultures et polyculture élevage. Les partenaires du projet (Arvalis, Terres-Inovia, ITAB, INRA, UniLaSalle, Auréa Agrosience et la Chambre d'Agriculture de Bretagne) s'appuient sur des essais au champ de moyenne et longue durée pour identifier les relations entre les bio-indicateurs et les fonctions visées et, évaluer la sensibilité de ces bio-indicateurs aux pratiques agricoles. Pour évaluer les conditions de vie des microorganismes, il est nécessaire de disposer d'une évaluation de la structure du sol pour interpréter les résultats des analyses biologiques. La méthode bêche ISARA a été utilisée, car elle répond aux deux principaux critères fixés dans le projet :

1- La nature des informations obtenues : il fallait une méthode qui puisse bien rendre compte de la qualité de la structure, et

permettre de disposer d'un maximum d'information susceptible d'aider ensuite à comprendre les résultats des tests biologiques. En ce sens, le profil cultural ou la méthode bêche ISARA adaptée du profil sont intéressants car ils permettent de distinguer des critères liés à l'assemblage des mottes et les types de porosité structurale des mottes, tout en considérant l'effet de l'activité biologique sur la régénération de la structure.

2- L'accessibilité et la facilité de mise en œuvre : le diagnostic Microbioterre ayant vocation à être ensuite généralisé dans les exploitations agricoles, il est important de choisir des méthodes et des indicateurs qui puissent être accessibles aux techniciens et agriculteurs, c'est-à-dire qui ne demande pas d'expertise spécifique, ni de matériel coûteux, et ne soit pas chronophage. De ce point de vue, les méthodes bêches sont les plus adaptées.

Toutefois, la feuille de notation de la méthode bêche ISARA a été adaptée pour y ajouter quelques informations supplémentaires jugées nécessaires au vu de l'objectif du projet. En particulier, des précisions sont demandées concernant le sol pour d'une part pouvoir le rattacher à un sol type de notre base de données et d'autre part disposer d'éléments de topographie et de circulation de l'eau. Certains critères de la fiche de notation ont été précisés, et des critères supplémentaires ont été ajoutés dans la description du bloc sur la bêche

pour noter si des ruptures de perméabilité entre horizons se distinguent (rupture franche avec changement de porosité et/ou racines coudées). La campagne d'acquisition de données a eu lieu au printemps 2018. Au total, ce sont 186 tests bêche qui ont été réalisés, répartis sur 17 essais de moyenne et longue durée qui visent à étudier des systèmes de culture, des modalités de travail du sol, des CIPAN et/ou des amendements et fertilisants organiques. Les résultats sont actuellement en cours de traitement et seront publiés prochainement.

Utilisation dans l'expérimentation

En plus de l'utilisation dans des projets de grande envergure, le test bêche est aussi mobilisé par Arvalis pour des usages expérimentaux plus classiques. Par exemple, cette méthode a été utilisée pour évaluer les conséquences sur la structure du sol des passages répétés lors de l'implantation du maïs semence, pour caractériser les différences de structure selon la nature du travail du sol dans l'essai de longue durée de Boigneville, ou pour évaluer plusieurs stratégies de régénération de la structure après tassement. Enfin, il permet également de vérifier l'état structural d'une parcelle avant l'implantation d'un essai.

Transfert auprès des agriculteurs

Enfin, Arvalis cherche à inciter les agriculteurs et les conseillers agricoles à observer l'état structural de leurs sols. La méthode bêche ISARA est une méthode simple à prendre en main pour guider les acteurs de terrain dans cette observation du sol. Elle présente l'avantage de faire appels à des critères (issus du profil cultural) qui peuvent être reliés à des conséquences pratiques pour l'agriculteur. Par exemple, des références existent pour faire le lien entre état structuraux (O, B, C) et la vitesse et profondeur d'enracinement (essais ITCF non publiés, Tardieu et Manichon, 1987) ou entre la porosité visible à l'oeil des mottes et la capacité de rétention en eau (Baize, 2000). Différentes actions sont mises en œuvre pour faciliter le transfert de cette méthode : réalisation d'une vidéo de présentation présentée lors des Culturales, articles dans la presse technique (Métais et Peigné, 2017), utilisation dans les formations au diagnostic des problèmes d'implantation et d'enracinement, etc.

Conclusion

Le principal intérêt de la méthode bêche est sa simplicité d'utilisation au champ ainsi que sa rapidité, qualité commune à la plupart des méthodes bêches existantes. L'originalité de celle développée par l'ISARA repose sur l'utilisation de critères d'observation développés et validés dans la méthode du profil cultural. Ces critères, assez répandus dans le monde agricole, permettent de lier les effets des pratiques et des passages d'engins agricoles avec des fonctions du sol, comme la circulation et le stockage de l'eau. Le diagnostic réalisé avec la méthode bêche ISARA permet, soit de rapidement porter un jugement sur le niveau de tassement du sol grâce à la note obtenue, soit d'évaluer des % d'états structuraux caractéristiques comme les % de mottes d'état interne delta. Ces indicateurs permettent d'adapter l'utilisation de la méthode bêche aux besoins des utilisateurs. Ainsi la méthode

bêche ISARA a été adaptée et utilisée pour des besoins spécifiques, comme le montre les travaux entrepris par Terres Inovia pour le colza et ceux d'Arvalis sur les liens entre l'activité microbiologique et la structure du sol. La méthode bêche ISARA est utilisée en recherche-expérimentation en complément de mesures physiques, par des conseillers du développement agricole et par des agriculteurs eux-mêmes afin de suivre l'effet de leurs pratiques sur la structure du sol ou dans une perspective d'action : intervention mécanique nécessaire ou non avant l'implantation d'une culture.

Références bibliographiques

- Baize, D., 2000. Guide des analyses en pédologie. Ed Quae, 326p.
- Ball, B. C., Batey, T., Munkholm, L. J. 2007. Field assessment of soil structural quality - a development of the Peerlkamp test. *Soil Use and Management*. 23(4) : 329-337.
- Boizard H., Peigné J., Sasal M.C., de Fátima Guimarães M., Piron D., Tomis V., Vian J.-F., Cadoux S., Ralisch R., Tavares Filho J., Heddadj D., De Battista J., Duparque A., Franchini J.C., Roger-Estrade J. 2017. Developments in the "profil cultural" method for an improved assessment of soil structure under no-till. *Soil and Tillage Research*. 173: 92-103.
- Cadoux S., Perrin A.S., Sauzet G., 2019. Tillage strategies to optimize rapeseed establishment: a method to support decision making. 15th International Rapeseed Congress, Berlin, Germany.
- Métais, P. et Peigné, J., 2017. Observation de la structure du sol : Tous à vos bêches ! *Perspectives Agricoles*, 449, 20-22.
- Peigné, J., Gautronneau, Y., Vian, J. F., Achard, P., Chignier-Riboulon, M., Ruffe, L., Vaskou, C. 2016. Test Bêche. Guide d'utilisation. 17 p
- Peigné J., Vian J.-F., Payet V., Saby N.P.A. 2018. Soil fertility after 10 years of conservation tillage in organic farming. *Soil Tillage & Research*. 175 : 194-204.
- Sauzet G. et Cadoux S. Réussir son implantation pour obtenir un colza robuste. Editions Terres Inovia, 2019. 37p.
- Tardieu, F. et Manichon, H., 1987. Etat structural, enracinement et alimentation hydrique du maïs. II. - Croissance et disposition spatiale du système racinaire. *Agronomie, EDP Sciences*, 7 (3), 201-211