

INNOVATION

Literal, l'outil de phénotypage en phase de calibration

Le projet Casdar éponyme se finalise, avec la calibration et la validation des algorithmes de phénotypage pour chaque partenaire, avant une utilisation à plus large échelle.

Literal, est un projet visant à créer un système léger capable d'enregistrer et d'analyser les caractéristiques visibles des cultures. Les algorithmes disponibles permettent notamment de mesurer la couverture des feuilles et de compter certaines plantes et leurs organes.

Un outil polyvalent, conçu sur mesure

Ce projet est articulé autour d'une paire d'appareils photo haute résolution qui permettent d'acquérir des informations détaillées sur le développement des cultures. Selon les besoins, une troisième caméra peut même être connectée pour disposer d'un angle de prise de vue supplémentaire. Une perche réglable ainsi qu'un baudrier et un sac à dos soulagent le dos de l'expérimentateur et adaptent la hauteur des capteurs selon la culture à phénotyper (allant du lin tout juste levé aux arbres fruitiers, en passant par la betterave). Chaque partenaire a pu tester les prototypes pendant trois campagnes et proposer des modifications pour rendre l'utilisation plus ergonomique. Il en découle aujourd'hui un équipement compact qui est déployable en quelques minutes sur le terrain. Une tablette permet de se repérer dans les essais et de piloter les acquisitions : vingt secondes suffisent pour photographier une micro-parcelle. Pour finir, d'autres améliorations

techniques pourront encore être apportées dans les douze mois restants au projet.

De nouvelles opportunités pour l'agronomie

Malgré la modestie de ses capteurs (trois caméras, un gyroscope et un GPS), l'outil est capable d'extraire de nombreuses informations sur l'état des plantes grâce à des algorithmes très efficaces. En premier lieu, les réseaux de neurones convolutifs profonds sont particulièrement adaptés pour le phénotypage. L'ITB, par exemple, a entraîné un modèle pour segmenter la végétation qui atteint plus de 95 % de précision malgré des tests en conditions de prise de vue difficiles. D'autres architectures sont utilisées pour la détection et le comptage de plants de lin ou d'épis de blé. De manière encore plus poussée, ces techniques d'apprentissage automatisées devraient être capables de quantifier les maladies foliaires et les teneurs en chlorophylle sans nécessiter d'appareillages spécifiques supplémentaires. De plus, le traitement combiné des images des deux caméras accolées permet d'approfondir l'analyse en mesurant l'information de profondeur. Le principe est similaire à la vision binoculaire humaine qui nous permet d'estimer notre distance aux objets du quotidien. Ainsi, Literal donne accès à la structure tridimensionnelle du couvert sans utiliser

de capteurs plus complexes tels que les lasers qui équipent certaines voitures autonomes (Lidar).

Résultats et perspectives

L'ITB a pu dans un premier temps valider la maniabilité du matériel et sa pertinence pour du phénotypage en routine. En parallèle, de nombreux algorithmes de traitement ont pu être développés et testés. Les scripts restent encore à perfectionner pour être déployés sur un plus grand nombre d'essais et rendre possible la comparaison des variétés et des modalités. Notamment, la mesure de la distribution des hauteurs de feuilles est prometteuse car elle ouvrira la voie à une meilleure compréhension du rôle de la structure du couvert dans les phénomènes d'interception lumineuse, de concurrence des mauvaises herbes et d'interaction avec le microclimat.

Le projet Literal bénéficie de la contribution financière du compte d'affectation spéciale de développement agricole et rural Casdar du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. Plusieurs partenaires contribuent à son développement sur 42 mois, notamment l'ITB, Arvalis, l'Inrae, Hiphen, Terres Inovia, le Geves et le CTIFL. L'ITB participe notamment aux tests physiques et scientifiques et développe les algorithmes adaptés à la betterave.

CHIFFRES CLÉS

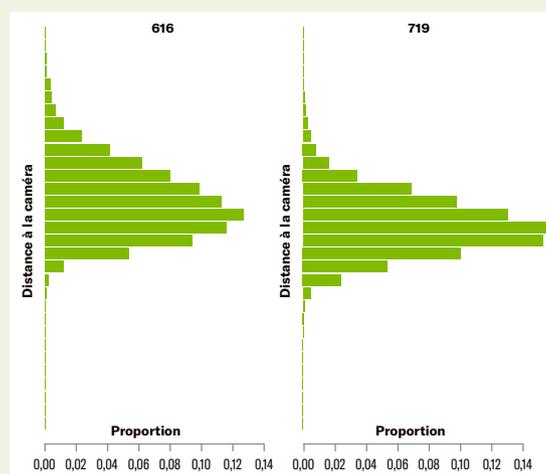
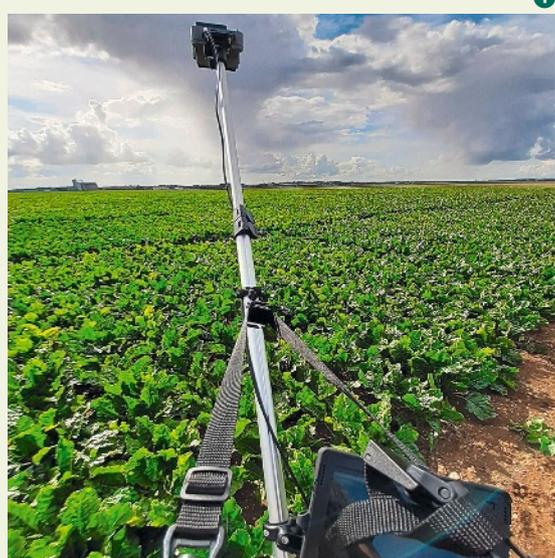
20 s
c'est la durée moyenne nécessaire à une prise de vue.

30 Mo
C'est la taille d'une acquisition haute définition d'une micro-parcelle.

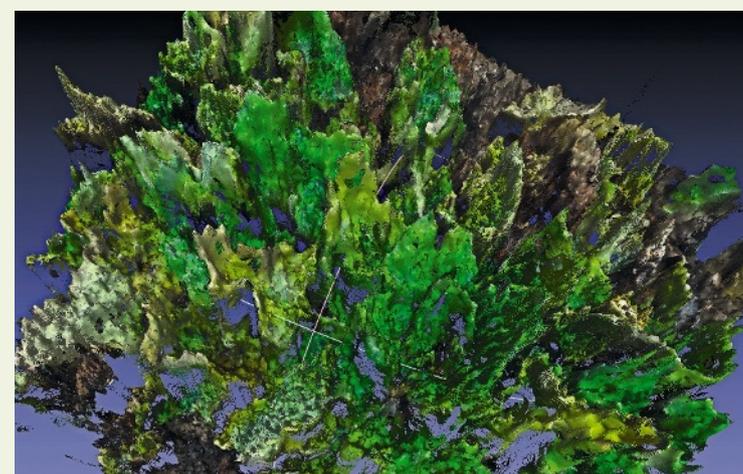
1
Boîtier d'acquisition LITERAL au bout de sa perche et tablette de contrôle.

CE QU'IL FAUT RETENIR

- **Le projet Literal** développe un appareil de phénotypage et les traitements associés
- **La base matérielle** est constituée d'une paire d'appareils photos professionnels
- **L'apprentissage automatisé** permet de calculer des variables complexes telles que le nombre d'épis de blé par m².
- **Avec un traitement adéquat**, la paire de caméras donne accès à la structure tridimensionnelle du couvert végétal.



Histogrammes légèrement différents des architectures foliaires de deux variétés.



Reconstruction d'un rang de betteraves sous la forme d'un nuage de point en trois dimensions.

EXPERTISE

Témoignage de cinq agriculteurs impliqués dans le PNRI

Dans le projet PNRI « Ferme Pilote d'Expérimentation », les agriculteurs betteraviers participent aux recherches de solutions alternatives aux néonicotinoïdes en mettant à disposition une partie de leur exploitation pour des essais. Voici les témoignages de cinq d'entre eux.



La responsabilité du ministère chargé de l'agriculture ne saurait être engagée

Ce programme bénéficie du financement de :



Le projet « Fermes Pilotes d'expérimentation »



HUBERT COMPÈRE

En agriculture conventionnelle, à Mesbrecourt-Richecourt (Aisne), suivi assuré par Saint Louis Sucre



Hubert Compère capture et observe régulièrement les insectes dans son exploitation

Mes parcelles se situent dans l'Aisne. Sur mes trois champs de betteraves, j'ai dédié, en 2021, 14,5 hectares au Plan National de Recherche et

Innovation (PNRI). Préalablement, j'ai conçu un vrai intérêt pour les observations entomologiques. En effet, depuis 2012, et encore aujourd'hui, en parallèle du PNRI, je maintiens dans mes champs des fleurs, des plantes sauvages ainsi que des haies. Je capture régulièrement des insectes pour analyser la biodiversité de mon champ et je travaille avec un entomologiste pour identifier les véritables prédateurs des pucerons et autres ravageurs de culture. Selon moi, il faut observer nos champs très régulièrement pour témoigner des dynamiques de la biodiversité présente, qui sont parfois très rapides.

Vu mon attrait pour les observations, j'ai décidé, en accord avec la sucrière Saint Louis Sucre, de tester le dispositif

de bandes fleuries du PNRI sur 5 mètres de large et sur 55 ares. L'expérimentation a démarré dès l'automne et les échanges avec le responsable du département expérimentation et expertise régionale de l'ITB, ainsi qu'avec l'entomologiste, se font régulièrement, notamment sur les observations de la faune auxiliaire.

En plus d'améliorer la biodiversité du champ, je distingue deux intérêts au dispositif « bandes fleuries » : l'augmentation des populations d'auxiliaires pour réguler les pucerons, et le fait que cela puisse servir de nourriture aux pollinisateurs. Il faut utiliser des mélanges de fleurs différents pour chacun de ces objectifs et semer au bon moment : les fleurs doivent être installées en amont de l'arrivée des pucerons, pour favoriser l'installation de leurs prédateurs.

Sur ce type de dispositif, quelques points de vigilance sont à souligner.

Il est indispensable de maîtriser les montées à graines de toutes les plantes qui fleurissent car elles sont susceptibles de produire des graines adventices pour les années futures. Les décalages de précocité entre toutes les espèces induisent donc des interventions décalées, notamment sur chardons et laitérons qui produisent des graines volantes. La limitation du salissement des sols peut se faire grâce à deux broyages à des hauteurs différentes et à des périodes espacées, en respectant les dates d'obligation de non broyage pour préserver les nidifications des oiseaux.

Le PNRI est une démarche inédite où les protocoles sont repris, réétudiés et réadaptés : c'est une boucle de progrès permanente. Ce genre de programme pousse les agriculteurs à être des acteurs du changement et à s'ouvrir à de nouvelles façons de cultiver.

LAURENT VERMERSCH

En agriculture de conservation des sols (ACS), à Nojeon-en-Vexin (Normandie), suivi assuré par l'ITB Normandie-Val d'Oise



Au bord de l'essai, Laurent Vermersch et sa fille Fiona (Master 2 à l'ESA d'Angers) qui devrait reprendre l'exploitation

Bientôt retraité, je profite de mon expérience pour faire évoluer mon exploitation vers un système de production plus en adéquation avec

les attentes actuelles d'un développement durable.

Dès 2006, j'ai rejoint le Réseau Biodiversité pour les Abeilles (RBA), implanté des bandes fleuries ainsi que des haies et autres bosquets en collaboration avec la Fédération Départementale des Chasseurs de l'Eure. Ces aménagements ont démontré le formidable potentiel d'une biodiversité latente dont il nous faut savoir maîtriser les équilibres entre prédateurs de nos productions et auxiliaires.

Grace à cette découverte de la faune auxiliaire, il m'a semblé intéressant de proposer ma parcelle de betteraves pour les essais du PNRI. Avec l'ITB, nous avons choisi de tester un dispositif de plantes compagnes à base d'avoine, de féveroles et de vesces. Les équipes de l'ITB suivent très régulièrement

ma parcelle, surtout pendant la période de fortes sensibilités aux inoculations virales. Je m'implique moi-même dans les observations. Pour cela, je me forme sur les auxiliaires grâce à l'entomologiste référente du projet, Johanna Villenave-Chasset et à son ouvrage sur la « Biodiversité fonctionnelle ». C'est un beau challenge pour notre métier d'agriculteur de mettre au point de nouvelles techniques plus respectueuses de l'environnement.

En tant qu'agriculteurs, nos observations sont visuelles, nous essayons de suivre l'apparition des premiers symptômes de jaunisse. L'avoine semble également avoir été pénalisante au niveau de la nutrition azotée de la betterave. Les Instituts techniques devront valider les influences multifactorielles et les résultats ; nous attendons de voir si les plantes compagnes ont eu l'effet désiré, c'est-à-dire de repousser les pucerons ou d'attirer des auxiliaires. En parallèle du PNRI, je teste d'autres solutions répulsives contre les pucerons,

comme des extraits fermentés, pulvérisations sucrées et bandes fleuries. En résumé, je suis proactif et motivé par la recherche de solutions respectueuses de l'environnement, par moi-même, auprès de groupes, comme l'Association pour la Promotion d'une Agriculture Durable, notre Groupement d'Intérêt Economique et Environnemental (GIEE) à l'Eure du Sol et par des formations.

Un grand travail reste à faire pour trouver un équilibre économique pour mon exploitation et, au-delà, pour la filière. Cependant, cette réalité, augmentée par l'implantation de couverts diversifiés sur l'ensemble de mes parcelles, ouvre les portes d'un territoire vivant, apte à une agriculture productive et respectueuse de l'écosystème.

Avec le PNRI, les institutions ont tendu la main aux betteraviers et à leur filière. C'est important de nous intégrer, dès la base, aux recherches car nous faisons partie du processus de transition souhaité.

HERVÉ GAIDOZ

En agriculture biologique à Warmerville (Marne), suivi assuré par Cristal Union



H. Gaidoz

Hervé Gaidoz sur sa parcelle d'essai dédiée au PNRI en agriculture biologique.

Cela fait 3 ans que je cultive des betteraves certifiées Agriculture Biologique (AB). Cette année, j'en fais sur 28 hectares. Lors de ma première

année, je n'ai compté aucun puceron. En 2020, les betteraviers ont tous été touchés par une forte pression de pucerons, et de fortes infestations de jaunisse. Mes parcelles n'ont pas été épargnées, cependant, je n'ai pas été plus pénalisé que mes collègues en agriculture conventionnelle. Depuis, nous avons tous pris conscience de l'importance de trouver des solutions contre ce virus.

Etant donné que les techniques appliquées en AB sont parfois différentes des pratiques conventionnelles, des solutions doivent être trouvées des deux côtés. Typiquement, les modalités comme les plantes compagnes d'inter-rang auraient été difficiles à imaginer avec un désherbage mécanique.

14 % des surfaces sont dédiées aux recherches en AB dans le projet Ferme Pilote d'expérimentation. Avec l'ITB et Cristal Union, nous avons décidé d'y intégrer une partie de ma parcelle. Nous avons testé l'effet du paillage plastique biodégradable sur l'apparition et l'évolution des populations de pucerons. Le paillage biodégradable est un film noir que l'on dépose au moment du semis, le semoir déroule le film et le perce localement, tout en déposant une graine tous les 20 cm. Il protège ainsi le sol contre les levées d'adventices et nous analysons s'il pourrait également avoir un effet sur les pucerons. L'année prochaine, nous allons coupler ce même dispositif avec l'insertion d'une bande fleurie intra parcellaire qui sera semée à l'automne avec des espacements entre bandes variés pour connaître leur rayon d'action. Pour ce genre de dispositif, il faut préalablement déterminer les

espèces de fleurs potentiellement efficaces contre les pucerons et trouver les semences de fleurs homologuées AB. Pour les essais du PNRI, le paillage et les semences de bandes fleuries sont fournies par Cristal Union, qui supervise les essais. Nous réalisons des observations hebdomadaires, et échangeons sur le terrain ou par téléphone. Cette année, nous n'avons pas eu une grande pression de pucerons, et nous n'observons pas de jaunisse dans les essais. En tant qu'agriculteurs, nous devons nous investir dans la recherche, il est impératif de trouver des solutions. Je place également de l'espoir dans le travail des semenciers et l'éventualité de trouver des variétés de betteraves résistantes contre la jaunisse. Nos recherches se complètent. Idéalement, nous trouverons une solution à mi-chemin entre la résistance variétale et la pratique culturale pour protéger les betteraves du mieux possible.

THOMAS BODDAERT

En agriculture conventionnelle, certifiée Haute Valeur Environnementale de niveau 3, à Steenbecque (Nord-Pas-de-Calais), suivi assuré par l'ITB



T. Boddaert

Thomas Boddaert et ses deux enfants.

Ma parcelle se situe à proximité de Steenbecque dans les Flandres. Cela fait six ans que je n'utilise plus d'insecticide foliaire et que je réduis considérablement ma consommation de produits phytosanitaires. Mes cultures sont d'ailleurs certifiées « Haute Valeur Environnementale » de niveau 3. J'utilise un seul fongicide en betterave et j'améliore chaque année les conditions d'application ciblées des herbicides sur les conseils du Groupe d'étude et de développement agricole (Geda). J'essaie de travailler comme un partenaire de l'écosystème sans perturber les équilibres préexistants. Je pratique également une rotation réfléchie, pour que chaque culture puisse apporter des bénéfices à la suivante. L'avantage d'une rotation longue et d'un assolement diversifié est que je ne retrouve aucune résistance des plantes ou des insectes. Avec ces façons de travailler, je constate que je ne suis pas plus pénalisé au niveau des

maladies et des pertes de rendement que mes collègues betteraviers dans la région. L'ITB s'est donc rapproché de moi pour réaliser des essais sur 7 hectares de betteraves dans le cadre du PNRI. Nous avons établi une relation de confiance. Je leur laisse une liberté d'action dans ma parcelle et ils me tiennent informé de leurs choix techniques. Ce Plan prévoit des expérimentations comme des lâchers d'auxiliaires, des essais de produits de biocontrôle, l'installation de plantes compagnes, ou encore des bandes fleuries. Pour l'année prochaine, il m'a été demandé de planter une bande fleurie de 4 mètres de large en bord de champ. L'avenir de la filière de la betterave dépend de ce programme de recherche. Lorsqu'on voit les pertes de rendement engendrées par la jaunisse, sans NNI et sans solution alternative, la filière est vraiment en danger. Malheureusement, si certains agriculteurs sont contraints d'arrêter de cultiver des betteraves, ils emporteront beaucoup d'emplois avec eux, notamment ceux des usines qui fermeront. Sans solution, les usines ne supporteront pas longtemps les aléas de rendement. Comme tous les agriculteurs de betterave, je suis dans l'attente de résultats et j'espère que plusieurs solutions seront trouvées à l'issue des trois ans. Je serais d'autant plus heureux que je participe à ce programme. La recherche a effectivement besoin des agriculteurs autant que nous avons besoin des ingénieurs, des chercheurs et des observateurs. C'est un travail commun et j'espère que nous allons réussir cette prouesse scientifique ensemble.

JEAN-ARMAND DOUBLIER

En agriculture conventionnelle, certifiée Haute Valeur Environnementale à Bricy (Loiret), suivi assuré par l'ITB



J.-A. Doublier

Essai de bande enherbée pour le PNRI, dans une parcelle de Jean-Armand Doublier

Toute mon exploitation est certifiée Haute Valeur Environnementale de niveau 3, et je dispose d'une parcelle de six hectares de betteraves. 10 % de la surface de mon exploitation est non traitée. L'ITB s'est rapproché de moi pour tester un dispositif de bandes enherbées et de lâcher d'auxiliaires. Ma parcelle étant longue et étroite, nous avons adapté le dispositif de bande enherbée en conséquence. Nous avons donc ensemencé chaque côté de la parcelle avec un mélange d'avoine et de vesce trois semaines avant le semis des betteraves. Les bandes occupent un espace de quatre mètres de largeur de chaque côté, sur toute la longueur de la parcelle. Vers la fin avril, l'ITB a également procédé à une pulvérisation d'œufs

de chrysopes avec la société Iftech. Les conditions de gel de cette année ont fortement affecté l'essai. Malgré cela, nous avons pris la décision de ne pas ressemer les betteraves, pour garder une observation de « référence » se rapprochant au maximum des dates de semis des betteraves d'une année « classique ». De mon côté, je n'ai pas observé de différence à proximité de ces bandes enherbées. La pression de pucerons a été assez importante dans la région et nous pouvons constater des symptômes de jaunisse. J'attends les résultats de fin de l'essai mais j'essaie d'anticiper les améliorations pour l'année prochaine. Il faut réussir à installer les auxiliaires avant l'arrivée des pucerons, alors que, dans la réalité, c'est plutôt l'inverse que l'on observe. Pour l'année prochaine, les bandes fleuries seront installées plus tôt, dès l'automne. De toute évidence, il est impossible de prouver l'efficacité d'une solution sans la tester. C'est pour cela que nous, agriculteurs, mettons à disposition nos parcelles. A la fin des essais, nous pourrions faire le tri et avancer dans les recherches. J'espère qu'en parallèle, il sera possible de calculer le réel bénéfice de ces dispositifs par rapport à nos objectifs de rendement, de productivité et la protection des betteraves.

CONSEILS DE SAISON

La betterave, une culture exigeante en phosphore et potassium

Malgré le contexte de prix élevés des engrais, il convient d'éviter les impasses en fumure de fond dans certaines situations. L'ITB rappelle les principes à suivre.

L'apparition de carences se traduit par un retard de développement et par un éventuel rougissement des feuilles dans le cas du phosphore. Dans tous les cas, une fois la carence en place, le retard provoqué n'est pas rattrapable, et est donc préjudiciable aux performances technico-économiques de la betterave. Il est donc indispensable d'anticiper ces apports, grâce à la réalisation régulière d'analyses de sols, environ tous les cinq ans. La betterave sucrière étant une culture considérée comme exigeante vis-à-vis du phosphore et du potassium, il est judicieux de les réaliser avant sa mise en place.



Les carences se traduisent par un retard de développement, et parfois par un rougissement des bordures de feuilles pour le phosphore.

CHIFFRES CLÉS

43 kg P₂O₅/ha

C'est la quantité de phosphore exportée par une betterave avec un rendement de 85 t à 16°/ha.

153 kg K₂O/ha

C'est la quantité de potassium exportée par une betterave avec un rendement de 85 t à 16°/ha.

Des apports déterminés par le contexte et les valeurs de l'analyse

Ces analyses sont à la base du calcul de dose à apporter, dont la formule et les paramètres ont été établis par le Comité français d'étude et de développement de la fertilisation raisonnée (Comifer). Pour un type de sol donné, des valeurs de seuils dites de renforcement et d'impasse ont été déterminées, selon l'élément considéré (P ou K) et la méthode d'analyse employée (Olsen, Joret-Hébert, Dyer pour le phosphore). Le seuil de renforcement (T_{renf}) est défini comme la valeur sous laquelle un apport d'amendement équivalent à l'exportation théorique ne suffit pas à éviter des pertes de rendement. Le seuil

d'impasse (T_{imp}) se définit quant à lui comme le niveau d'offre du sol au-delà duquel l'absence de fertilisation n'induit pas de perte sensible de rendement. La confrontation de la valeur de l'analyse de sol à ces seuils, et la date du dernier apport, permettent de déduire un facteur (tableau 1 – pour le phosphore). En le multipliant au rendement prévu et à la teneur en éléments des exportations (0,5 kg P₂O₅/t à 16°, 1,8 kg K₂O/t à 16°), on obtient la dose d'engrais à apporter. Un complément peut être nécessaire dans le cas où les résidus du précédent auraient été exportés. Le Comifer indique toutes les valeurs de paramètres permettant d'appliquer le

calcul à sa propre situation dans sa brochure (« La fertilisation P-K-Mg »), disponible gratuitement sur son site internet www.comifer.asso.fr.

Des nouveaux seuils pour le phosphore en sols de craie

La plupart des références ayant permis d'établir le conseil d'apport de phosphore en sols de craie étaient basées sur des analyses Joret-Hébert. La traduction de ce conseil pour des analyses Olsen, aujourd'hui beaucoup plus courantes, s'est faite par l'étude de la relation entre ces deux méthodes d'analyse sur des échantillons de sols de craie. En 2020, le Comifer a mené un travail d'actualisation de cette relation. De nouvelles valeurs de seuils de renforcement et d'impasse ont alors été définies (tableau 2) : les valeurs de ces seuils ont été diminuées, ce qui se traduit par une baisse globale des apports de phosphore. A titre d'exemple, un betteravier en sols de craie, avec un objectif de rendement autour de 85 t à 16°/ha, et une valeur d'analyse Olsen à 125 ppm, voit sa dose de conseil d'apport réduite d'environ 40 kg P₂O₅/ha, soit environ 90 kg/ha de Super45. Étant donné le niveau de prix actuellement très élevé des engrais, la prise en compte de cet ajustement du conseil est loin d'être négligeable. Pour des conseils établis par les laboratoires, sur la base d'une analyse antérieure à 2020, il convient d'actualiser le calcul d'apport.

RENOUVELER LES SEUILS D'IMPASSE

L'ITB participe avec Arvalis au projet « Juste-P », porté par l'UMR INRAE-Bordeaux Science Agro ISPA. Ce dernier vise à réactualiser les seuils d'impasse pour le phosphore, proposés dans les années 1990 par le Comifer, en se basant sur des méthodes reconnues internationalement. Financé pendant 8 mois par le LabEx COTE de l'Université de Bordeaux, ce projet a permis de regrouper des jeux de données, et de les enrichir grâce à la réalisation d'analyses. Les travaux initiés seront poursuivis dans le cadre du groupe P-K-Mg du Comifer.

Coefficients multiplicatifs des exportations (tableau 1)

Seuils	T _{renf}	T _{imp} - 10 %	T _{imp}	T _{imp} + 10 %	2 x T _{imp}	3 x T _{imp}
Apport récent	2,2	1,5	1,2	1,0	0,8	0
1 an sans apport	3,3	2,0	1,5	1,2	1,0	0
2 ans ou + sans apport	3,7	2,7	2,0	1,5	1,2	0,8

Coefficients déterminés par le Comifer pour déterminer les apports de phosphore à réaliser pour une culture exigeante (T_{renf} : seuil de renforcement ; T_{imp} : seuil d'impasse). Source : Comifer.

Nouveaux seuils d'impasse (T_{imp}) et de renforcement (T_{renf}) pour le phosphore, en sols de craie (tableau 2)

	Cultures très exigeantes Betterave sucrière, colza, luzerne, pomme de terre		Cultures moyennement exigeantes Blé/Blé, blé dur, maïs fourrage, pois, orge, ray-grass, sorgho		Cultures peu exigeantes Avoine, blé tendre, maïs grain, seigle, soja, tournesol	
	T _{renf}	T _{imp}	T _{renf}	T _{imp}	T _{renf}	T _{imp}
Nouvelles valeurs	90	130	80	100	50	80
Anciennes valeurs	145	210	130	150	60	135

CE QU'IL FAUT RETENIR

- Une fois que des symptômes dus aux carences en phosphore et/ou en potassium sont en place, la dégradation des performances technico-économiques de la betterave est inévitable.
- Afin d'anticiper et d'adapter au mieux les apports à réaliser, il est nécessaire d'effectuer des analyses de sols régulièrement. A partir de ces analyses, et selon la méthode donnée par le Comifer, un conseil d'apport peut être établi.
- Pour les sols de craie, de nouveaux seuils de renforcement et d'impasse ont été déterminés pour le phosphore. Cette actualisation du conseil conduit à baisser sensiblement les quantités à apporter.
- L'ITB travaille avec ses partenaires à l'actualisation de seuils d'impasse pour le phosphore.