

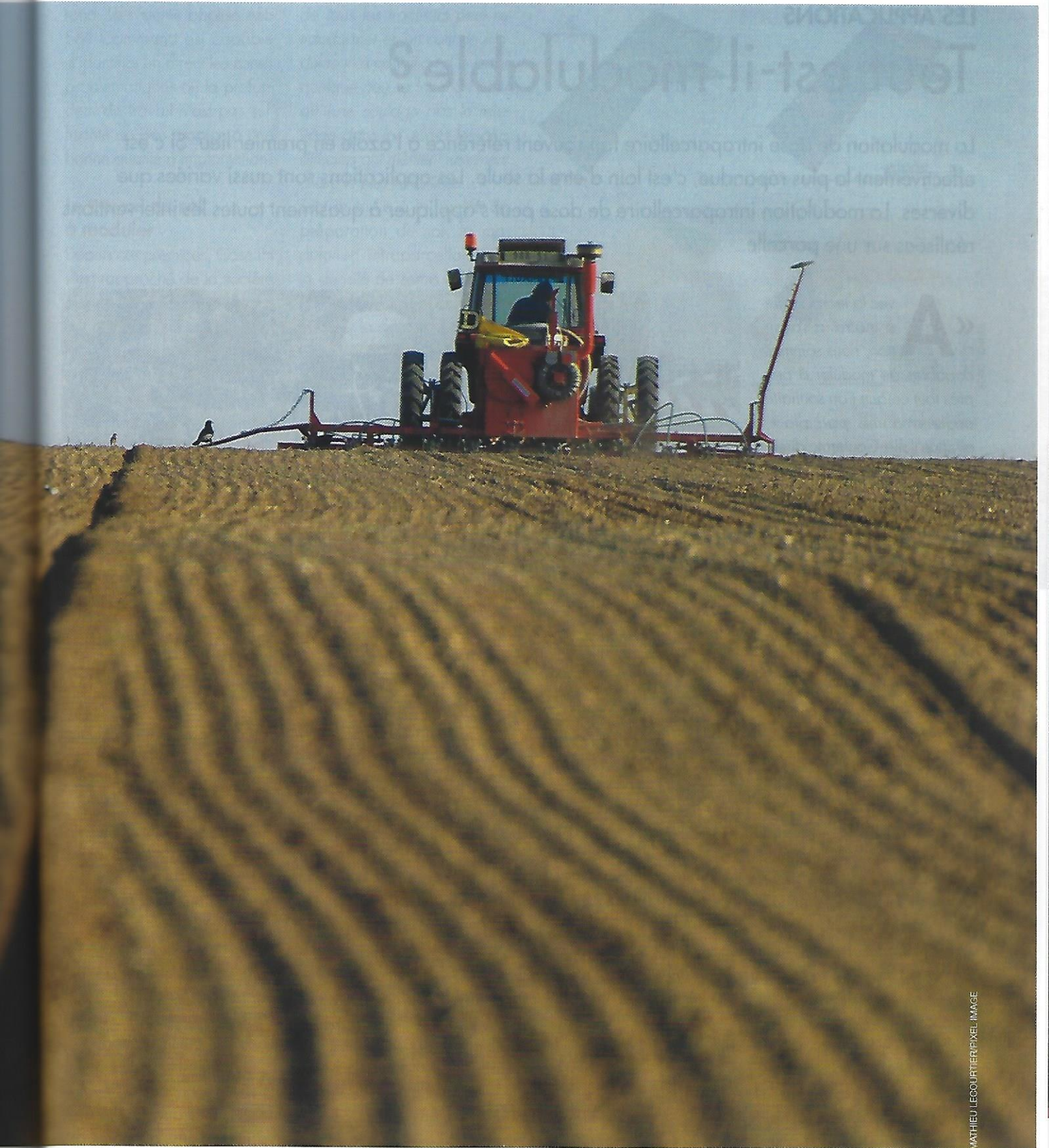
MODULATION INTRAPARCELLAIRE

COMPRENDRE SES PARCELLES POUR MIEUX LES PILOTER

Quand il est question de modulation de doses intraparcellaire, la première réflexion est bien souvent matérielle : Suis-je en possession d'un outil capable de moduler ? Vais-je devoir investir ? Mais sont-ce vraiment les bonnes questions à se poser de prime abord avant même de connaître le réel intérêt technico-économique de la pratique et sa faisabilité sur la ferme ? Si la modulation de dose intraparcellaire de l'azote est aujourd'hui bien déployée en agriculture, elle n'est pas la seule existante. On peut d'ailleurs en distinguer de deux types : celles qui sont issues d'observations et d'analyses du végétal comme c'est le cas pour l'azote, pour les herbicides, potentiellement pour les fongicides et les insecticides même si tous ne sont pas encore déployés sur le terrain. Et celles qui sont issues d'une caractérisation physique et/ou chimique du sol. C'est particulièrement le cas pour la modulation de la dose de semis, d'engrais de fond, de l'irrigation, du travail du sol, etc. L'édition de cartes d'hétérogénéité de ses sols n'est cependant pas donnée... Il faut compter un investissement de départ d'une centaine d'euros par hectare. Un investissement désormais considéré comme tel par les banques et donc finançable, mais qui nécessite de s'interroger sur sa rentabilité.

MATHIEU LECOURTIER





MATHIEU LECOURTIER/PIXEL IMAGE

LES APPLICATIONS

Tout est-il modulable ?

La modulation de dose intraparcellaire fait souvent référence à l'azote en premier lieu. Si c'est effectivement la plus répandue, c'est loin d'être la seule. Les applications sont aussi variées que diverses. La modulation intraparcellaire de dose peut s'appliquer à quasiment toutes les interventions réalisées sur une parcelle.

« **A**vec la technologie à notre disposition, nous sommes capables de moduler à peu près tout ce que l'on souhaite au sein d'une parcelle », avance Julie Coulerot, directrice générale de la société Agro-Conseil. Pourquoi donc ne pas imaginer moduler des variétés d'une culture au sein d'une même parcelle en fonction d'un bio-agresseur ? Une variété tolérante est implantée dans les zones les plus à risque de la parcelle puis une variété moins tolérante et plus productive réservée au reste du champ. Il est possible de générer de telles cartes d'hétérogénéité du sol et d'en déduire des cartes de modulation variétale. Le groupe coopératif sucrier Tereos teste d'ailleurs cette pratique pour la première fois cette année en betteraves. Un semoir bi-variétal est arrivé tout droit des États-Unis afin de mettre en place la pratique. Cette application de la modulation de dose peut sembler être l'aboutissement extrême de la pratique. Toutefois, sa mise en œuvre doit se raisonner, comme toutes les autres ap-



Le véritable enjeu de la modulation de dose est d'apporter un plus technico-économique à l'agriculteur sans compliquer son système de production. Si ce n'est pas le cas, l'investissement en vaut-il la peine ? Aujourd'hui, la collecte de données n'est plus un problème.

plications de ces techniques de pointe, par son retour sur investissement. « Il faut veiller à ne pas se laisser embarquer par les nouvelles technologies pour les nouvelles technologies, insiste la directrice d'Agro-Conseil. La vraie question à se poser est la rentabilité de chacune des modulations qui est possible aujourd'hui. »

La collecte de données n'est aujourd'hui plus un souci. Qu'il s'agisse du sol, des plantes, de la météo et des bio-agresseurs, il est possible d'interroger des données fiables. La preuve en est que tout peut être modulé, le groupe CNH travaille depuis plusieurs années à l'évaluation de la qualité du lit de semence plus ou moins pro-

fond. Le système baptisé AFS Soil Command est capable d'identifier en direct les zones problématiques où la profondeur de travail n'est pas suffisante ou peu propice à une bonne qualité d'implantation.

Le travail du sol à moduler

Depuis ces prémices, Case IH s'est rapproché de la société autrichienne Geoprosector qui a mis au point le Topsoil Mapper dont les capteurs analysent le sol à l'avant du tracteur et permet la modulation intraparcellaire du travail du sol instantanément. Reste à identifier réellement comment la modulation du travail du sol pourra se traduire concrètement dans les parcelles agricoles les plus hétérogènes. Est-ce simplement une gestion de la profondeur de travail du sol ou carrément l'utilisation d'outils différents en fonction du zonage ?

La modulation qui se veut comme une technique d'optimisation des interventions aux champs pourrait bien les compliquer dans certains cas. Si moduler le travail du sol consistait uniquement à adapter la profondeur de semis, Jean-Paul Daouze, ingénieur conseil en agroéquipement à la chambre d'agriculture de la Marne, estime que « le contrôle d'effort qui équipe les relevages

de tous les tracteurs peut se transformer en un outil de modulation à condition d'inverser quelque peu sa fonction pour qu'il ne soulage pas le relevage dans les zones les plus difficiles qui méritent justement d'être le plus travaillées... »

Tout aussi lié à la qualité de préparation du sol, la modulation intraparcellaire de la densité de semis a le vent en poupe. Celle-ci consiste à adapter la dose de semences en fonction des différentes caractéristiques de sols au sein d'une parcelle. Elle revient à appliquer les règles de calcul de densité de semis les plus classiques à différentes zones d'une parcelle. L'enjeu de dose est quelquefois insignifiant dans ce cas. L'objectif est davantage d'exprimer le potentiel maximum de la culture dans chacun des types de sols de la parcelle. Peut-être qu'à terme, la modulation de dose de semis pourra aussi s'inscrire dans une démarche de lutte contre les adventices en augmentant la densité de semis là où la pression adventice est la plus élevée afin de faire jouer la concurrence.

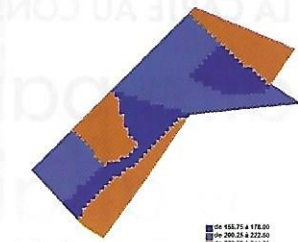
La biomasse module les phyto

Tant qu'il existera encore des solutions de désherbage chimique, la modulation du désherbage aura sa place

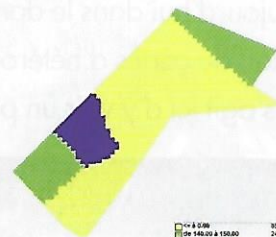
AGRO CONSEIL



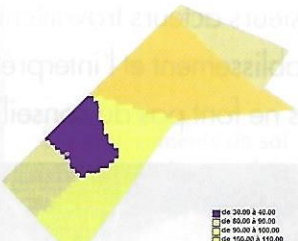
Carte de type de sol



Carte de conseil apport phosphore en kg/ha d'engrais



Carte de conseil apport de potasse en kg/ha d'engrais



Carte de conseil apport de magnésium en kg/ha d'engrais

Le statut du sol est l'une des données essentielles à la bonne modulation de nombreuses interventions, complété par le statut de la plante et la météo. Malgré l'absence d'hétérogénéité physique, l'hétérogénéité chimique peut être importante.

sur la base de cartographie de biomasse de la parcelle. La technique est aujourd'hui effective notamment sur le maïs pour lequel il est possible d'identifier des zones qui se salissent. Elle permet de ne pas désherber toute la parcelle si ce n'est pas nécessaire. Mais elle ne semble pas déployée sur d'autres cultures. Reste à s'assurer que le délai entre la prise des images et l'intervention n'est pas trop grand pour permettre une intervention au bon stade. La même question se pose pour la modulation intraparcellaire des fongicides, des régulateurs voire des insecticides. La première semblant être en phase de test chez certains distributeurs agricoles et certains agriculteurs

M. L.

L'objectif de toute modulation de dose est d'exprimer le potentiel agronomique, environnemental et économique maximum de la culture dans chaque zone de la parcelle !

DE LA CARTE AU CONSEIL

Faire parler les cartes, une affaire de spécialiste

Plusieurs acteurs travaillent aujourd'hui dans le domaine de la modulation intraparcellaire fondée sur l'établissement et l'interprétation de cartes d'hétérogénéité de sol. Tous n'ont pas la même méthodologie, tous ne font pas du conseil. Il s'agit ici d'y voir un peu plus clair pour qui souhaite se lancer.



PHOTOS ANTHONY LE QUEMENER

Pour passer des cartes d'hétérogénéité à un conseil agronomique il est tout d'abord important de produire une interprétation de qualité des cartes réalisées. Les cartes de résistivité sont par exemple difficiles à interpréter comme le rappelle Alain Tabbagh, expert en géophysique à l'université de Paris VI : « Pour un même type de données de résistivité ou de conductivité [...] peut cor-

Le profil de sol permet de favoriser l'appropriation des cartes de conductivité par l'agriculteur

respondre de nombreuses caractéristiques structurales différentes ». Pour interpréter au mieux ces cartes, « la qualité de calibration des instruments de mesure et la possession de données locales constituent donc une forte valeur ajoutée », précise Caroline Desbourdes. C'est en partie l'un des facteurs qui distingue aujourd'hui les différents acteurs du secteur comme Géocarta, Defisol, Precifield ou

Soyl France. Certains ont une grande antériorité sur le territoire national alors que d'autres sont de nouveaux acteurs chez nous. Ce qui impose de compléter leur référentiel ou bien d'extrapoler des données acquises à l'étranger.

À chaque entreprise son approche

Une fois les cartes établies, des algorithmes propres à

MES
Qu

Defiso
dans
2001
propo
d'hété
Defiso
confir
priatic
égale
de dro
entrep

Geoco
maine
dans
cartes
résistiv
le CN
entrep

Precifi
aux Ét
diagn
techn
sistivité
seul pa
des da

Soyl Fr
nation
té Brita
ses cor
chimiq



Les prélèvements de sol permettent de créer les cartes d'hétérogénéité chimique.

MESURER L'HÉTÉROGÉNÉITÉ PHYSIQUE DES SOLS

Quatre acteurs majeurs

Defisol est l'une des deux entreprises Française historique dans le domaine de la cartographie des sols. Créée en 2001, elle a fait ses armes dans le département de l'Eure et propose des prestations fondées sur l'établissement de cartes d'hétérogénéité chimique et physique du sol. La méthode de Defisol intègre également des profils de sol permettant de confirmer les cartes de conductivité et de faciliter l'appropriation du diagnostic par l'agriculteur. L'entreprise propose également de la cartographie de biomasse par l'utilisation de drones. Elle délègue le conseil agronomique à d'autres entreprises telles que Be Api.

Geocarta est l'autre entreprise Française historique du domaine. Également créée en 2001, Géocarta est spécialisée dans la géophysique et produit donc principalement des cartes d'hétérogénéité physique grâce à des mesures de résistivité fondées sur la technologie ARP développée par le CNRS. Geocarta délègue le conseil agronomique aux entreprises spécialisées dans le domaine.

Precifield utilise une technologie développée il y a vingt ans aux États Unis par la société Veris. L'entreprise propose des diagnostics d'hétérogénéité physique et chimique du sol. Sa technologie embarque quatre capteurs pour mesurer la résistivité, la matière organique, le pH et la topographie en un seul passage. Precifield propose du conseil en modulation des doses de semis et de fumure de fond.

Soyl France est une jeune entreprise présente sur le territoire national depuis le printemps 2017. Elle est issue de la société Britannique Soyl créée il y a 25 ans et propose à l'instar de ses concurrents un diagnostic de l'hétérogénéité physique et chimique des sols.

chaque entreprise permettent de définir une carte de modulation et un conseil associé. Toutes les entreprises qui réalisent les diagnostics de l'hétérogénéité des sols ne proposent pas nécessairement le conseil agronomique.

Ainsi Geocarta et Defisol se présentent comme des spécialistes en recherche et développement dans le domaine du diagnostic des sols et fournissent les cartes à d'autres entreprises spécialisées dans le conseil agronomique. En guise d'exemple Defisol réalise les diagnostics d'hétérogénéité des sols que Be Api exploite pour fournir aux agriculteurs un conseil de modulation.

Precifield et Soyl France, quant à eux, proposent une démarche complète qui intègre diagnostic et conseil en modulation. Une fois les cartes d'hétérogénéité établies, elles sont utilisées dans les consoles des épandeurs,

pulvérisateurs ou semoirs. Un agriculteur du sud de l'Aube, utilisateur de la modulation intraparcellaire, nous précise qu'aujourd'hui « on peut avoir des difficultés de lecture des cartes de modulation sur certaines consoles selon le format informatique avec lequel elles sont fournies ». Une problématique qui a incité par exemple une entreprise comme Soyl France à proposer une solution universelle fondée sur l'utilisation d'un iPad dans la cabine du tracteur. Cette solution est particulièrement intéressante pour les agriculteurs qui ne sont pas équipés d'outils compatibles avec le standard Isobus.

Dans tous les cas, la réalisation d'une prestation complète allant de l'établissement des cartes d'hétérogénéité jusqu'au conseil agronomique coûtera en moyenne à l'agriculteur une centaine d'euros par hectare.

ANTHONY LE QUEMENER



APPRÉCIER L'HÉTÉROGÉNÉITÉ DE SES SOLS

Des cartes pour comprendre ses parcelles

Moduler ses intrants au sein d'une même parcelle nécessite d'être en mesure d'en apprécier l'hétérogénéité. Il est possible de générer autant de cartes d'hétérogénéité parcellaire que l'on peut observer d'indicateurs : la résistivité, la teneur en éléments minéraux, le rendement, la biomasse... Suivant l'objectif recherché, il est important d'utiliser les cartes adéquates.

Deux grands types d'hétérogénéité de sol sont caractérisés aujourd'hui : l'hétérogénéité physique et l'hétérogénéité chimique.

Les cartes de conductivité et de résistivité apparaissent souvent comme incontournables lorsque l'on souhaite apprécier l'hétérogénéité physique d'une parcelle. À l'image d'une analyse granulométrique, elles sont réalisées une seule fois puisque variables sur un très long pas de

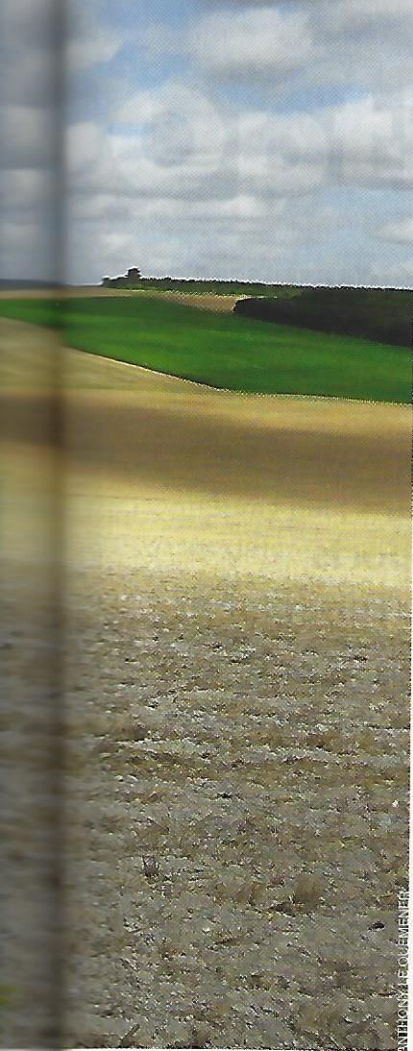
La réalisation de cartes d'hétérogénéité physique est pertinente lorsque les zones d'hétérogénéité font une taille suffisante.

temps et c'est pour cela que Thomas Pitrat, spécialiste de Geocarta, appuie : « *Même si l'on n'exploite pas encore pleinement le détail des cartes de résistivité, il est important de les produire avec la plus grande précision possible.* » Pour les construire, on envoie un courant électrique dans le sol et on mesure sa capacité à y résister ou au contraire à le conduire. Les valeurs observées permettent d'accéder à des données de physique du sol car elles varient en fonc-

tion de la texture, de la structure, de la teneur en cailloux, de la carbonatation et de la profondeur de la zone étudiée.

Des interprétations complexes

Les cartes d'hétérogénéité ont trois objectifs principaux. Le premier est l'établissement de zones de potentialité de rendement avec toute la complexité d'interprétation que cela représente. Alexandre Weil, spécialiste à Précifield,



tion. « Aujourd'hui on a quasiment tous les paramètres pour identifier la réserve utile des différentes zones de la parcelle, précise Alexandre Weil. Nous disposons également de la topographie grâce aux relevés GPS. Cela permettrait de définir plus précisément le positionnement des sondes capacitatives et de déterminer combien il est nécessaire d'en positionner ».

La physique du sol n'explique pas tout

Lorsque l'on veut faire de la modulation de fumure de fond, les cartes de physique du sol ne sont plus utilisables, on établit alors des cartes d'hétérogénéité chimique. Comme le rappelle Thomas Pitrat: « Dans un sol, il

n'existe pas de corrélation entre la teneur en potassium ou en phosphore et les caractéristiques physiques. À texture et à structure identique, deux zones de sols peuvent avoir des teneurs en minéraux très différentes car l'historique de fertilisation et d'assolement de

MESURE DE L'HÉTÉROGÉNÉITÉ PHYSIQUE DES SOLS Résistivité ou conductivité ?

D'un point de vue purement mathématique, la résistivité et la conductivité sont des notions proches, l'une étant l'inverse de l'autre. En pratique sur le terrain, les outils utilisés pour mesurer ces deux indicateurs ne sont pas identiques et chacun possède des conditions d'utilisation dans lesquelles il est plus précis que l'autre. La conductivité est mesurée avec des électrodes à induction situées à quelques centimètres au-dessus du sol alors que la résistivité est mesurée avec des électrodes en contact avec le sol. Dans les deux cas, pour être de qualité, la mesure de la résistivité ou de la conductivité doit être réalisée sur un sol non gelé, non sec et ressuyé.

L'établissement d'une carte d'hétérogénéité physique se fait systématiquement par la mesure de la conductivité du sol

explique: « Lorsque l'on fait des zones de potentiel, en pleine Champagne, la zone la plus argileuse a des possibilités d'être la meilleure, alors qu'en argiles lourdes, la zone la plus argileuse a la possibilité d'être la plus difficile. » Le second usage possible est la modulation des densités de semis selon la réserve utile ou le teneur en cailloux par exemple. Il faut toutefois noter que la pertinence de la modulation de semis n'est pas encore clairement établie. Cette technique de modulation semble peu intéressante sur les céréales et demeure controversée sur des cultures comme le maïs. Le dernier usage possible de ces cartes est la modulation de l'irriga-





Les apports d'engrais organiques en vue de réaliser de la fumure de fond peuvent être modulés.

la parcelle à plus de conséquences sur ces indicateurs. » L'établissement d'une carte de modulation du phosphore ou du potassium est donc toujours fondé sur la réalisation de prélèvements de terre qui sont renouvelés tous les quatre à cinq ans. Ces prélèvements peuvent être réalisés par la technique du « grid sampling », ou maillage géométrique, qui consiste à quadriller la parcelle avec un réseau d'analyses de sol. Dans les faits une analyse est réalisée par hectare mais Caroline Desbourdes, d'Arvalis-Institut du végétal, précise que « pour être vraiment précise, la technique du grid sampling nécessite de réaliser 4 à 5 analyses par hectare. Ceci en fait une méthode onéreuse dont la ren-

tabilité pourra être améliorée dans le futur avec des techniques de mesure en direct au champ. » Bien souvent, les points de mesures sont donc limités et positionnés en établissant des zonages déterminés en partie par la carte de résistivité mais également grâce à l'historique tel que la succession culturale et le parcellaire avant remembrement. Cette étape nécessite un grand savoir-faire comme nous l'explique Benoît Dreux de Defisol : « Il est nécessaire d'identifier les facteurs qui influencent la variabilité intraparcellaire et de déterminer jusqu'à quel point on peut réduire le nombre de mesures sans détériorer la qualité de la carte établie. »

ANTHONY LE QUEMENER

CARTES DE RENDEMENT

Moduler ses apports avec la carte de rendement ?

On s'aperçoit que la correspondance entre la carte de rendement et la carte d'hétérogénéité physique du sol n'est établie que lorsque la réserve utile est le principal facteur limitant de l'année. Les autres années, la carte de rendement peut exprimer d'autres facteurs limitants liés à la pression maladie, à l'enherbement, etc. La carte de rendement n'est donc pas utilisée pour faire de la modulation intraparcellaire car elle prédit mal l'hétérogénéité réelle. Elle peut en revanche donner des informations complémentaires aux cartes d'hétérogénéité du sol, par exemple lorsque le rendement d'une zone est très différent du potentiel exprimé par la carte d'hétérogénéité physique. Certaines entreprises comme Soyl France utilisent également ces cartes pour calculer les exports de phosphore et de potassium sur les différentes zones de la parcelle et les prendre en compte dans les préconisations de modulation de fumure de fond les années suivantes.

HÉTÉROGÉNÉITÉ PHYSIQUE

La résistivité n'est pas toujours nécessaire

Etablir l'hétérogénéité physique d'une parcelle n'a pas toujours de sens. C'est le cas sur les parcelles où les sols présentent peu de diversité ou bien pour lesquelles les zones hétérogènes sont de petite taille. En effet, aujourd'hui les équipements disponibles au champ ne permettent pas d'exploiter des variations d'hétérogénéité inférieures à une largeur voire une demi-largeur d'outil. Avec la connaissance de sa parcelle, l'agriculteur peut donc juger de la pertinence de réaliser une mesure de résistivité. En revanche l'établissement d'une carte d'hétérogénéité chimique est souvent pertinent même si les sols paraissent homogènes en apparence. Lorsque l'on souhaite moduler l'azote, les régulateurs ou les fongicides, alors, les cartes de biomasses deviennent plus pertinentes.