

## Chapitre 6

### L'agriculture de précision est-elle le début d'une nouvelle révolution ?

*L'agriculture de précision est une démarche de gestion à l'échelle de toute l'exploitation, dont l'objectif est d'optimiser le rendement d'utilisation des intrants tout en améliorant l'empreinte environnementale de l'agriculture. Il s'agit d'une pratique de gestion relativement nouvelle, rendue possible par le développement des technologies de l'information et de la télédétection. Il existe un large éventail de technologies d'agriculture de précision, mais celles qui sont le plus couramment adoptées sont des technologies à forte intensité de savoir. Les informations sur l'agriculture de précision proviennent d'enquêtes sporadiques aussi bien dans le temps que dans l'espace, car les pays ne collectent pas de données régulièrement. Bien que l'agriculture de précision ait mis l'accent jusqu'ici sur les grandes cultures, les technologies de précision peuvent s'appliquer à tout le système de production agroalimentaire (production animale, aquacole et forestière). Ce chapitre s'intéresse au concept et à l'utilisation de l'agriculture de précision dans les pays de l'OCDE, aux principaux obstacles qui empêchent de la mettre au service d'une croissance verte, et à son impact sur l'efficacité d'utilisation et la productivité des ressources.*

### Principaux messages

- Les données concernant l'utilisation des technologies de l'agriculture de précision par les exploitants sont peu nombreuses car les pays ne collectent généralement pas ce type de données.
- L'adoption des technologies de l'agriculture de précision reste pour le moment cantonnée à quelques pays et secteurs (principalement les grandes cultures).
- Le guidage par GPS est la technologie la plus largement utilisée en agriculture de précision.
- D'importants gains d'efficacité et de productivité peuvent être réalisés dans le secteur des grandes cultures, en particulier lorsque la variabilité intra-parcellaire des rendements est élevée.
- Les lacunes techniques, le manque de connaissances, les coûts élevés au démarrage, auxquels s'ajoutent dans certains cas le risque que la rentabilité de l'investissement soit insuffisante, ainsi que des contraintes structurelles et institutionnelles, sont des obstacles majeurs à l'adoption de l'agriculture de précision par les exploitants.
- L'agriculture de précision a un rôle important à jouer pour promouvoir la croissance verte de l'agriculture dans les pays de l'OCDE, mais la prévalence d'exploitations de petite taille dans plusieurs pays rend son adoption à grande échelle problématique.

### Appliquer le bon traitement au bon endroit au bon moment

L'agriculture de précision est une pratique de gestion relativement nouvelle, rendue possible par le développement des technologies de l'information et de la télédétection. Elle conjugue l'application de technologies et principes agronomiques pour gérer la variabilité spatiale et temporelle associée à tous les aspects de la production agricole aussi bien végétale qu'animale (encadré 6.1).

L'agriculture de précision, définie comme une approche systémique permettant d'optimiser les rendements des cultures grâce à la collecte et au traitement systématiques de données sur les cultures et les parcelles, peut en particulier améliorer la gestion des éléments nutritifs en adaptant plus précisément la consommation et l'application d'intrants à la croissance idéale des plantes et aux besoins en matière de gestion.

On a souvent tendance à réduire le concept d'agriculture de précision aux technologies à débit variable, qui permettent de moduler les apports d'intrants agricoles. Les possibilités technologiques sont très larges et vont de l'acquisition automatique de données et d'informations pour une fertilisation modulée, à l'optimisation de la gestion du parc de machines agricoles (Auernhammer, 2001). Ce terme recouvre en réalité de nombreuses technologies qui apportent des informations plus précises sur les ressources gérées et permettent dans le même temps à l'exploitant de répondre aux variations intra-parcellaires en modulant les apports d'intrants et l'irrigation, au lieu d'appliquer à toute une parcelle un même traitement dont l'efficacité ne pourra être optimale.

### Encadré 6.1. Qu'est-ce que l'agriculture de précision?

L'agriculture de précision est une notion relativement large. Pour certains, elle consiste à utiliser les fonctionnalités de guidage automatique de leur tracteur, pour d'autres à cibler l'application des herbicides au moyen de cartes préprogrammées. Au fil des ans, l'accent s'est déplacé des technologies de modulation des doses, vers les systèmes de guidage des véhicules puis vers la cartographie des rendements. Le terme s'est démocratisé avec l'apparition des systèmes de géolocalisation (GPS) et de navigation par satellite (GNSS), et d'autres méthodes de télédétection, qui ont permis aux exploitants de créer des cartes précises de leurs parcelles fournissant des informations détaillées sur leur positionnement exact une fois sur le terrain. On distingue cinq grands groupes de technologies utilisées en agriculture de précision :

- Les systèmes d'information géographique (SIG), logiciels de gestion des données spatiales.
- Les systèmes de géolocalisation (GPS), qui fournissent des informations topographiques sur les positions utilisées dans les SIG, même si un GPS différentiel est nécessaire pour obtenir des informations intra-parcellaires précises.
- Les capteurs, qui permettent de mesurer les propriétés des sols, les ravageurs, la santé des cultures, etc. afin de moduler les opérations de gestion selon les besoins. Ces capteurs peuvent être placés dans les champs et leur signal est capté par des boîtiers portatifs ou des dispositifs montés sur les tracteurs, ou ils peuvent faire partie de dispositifs de télédétection qui prennent des photographies aériennes ou satellitaires.
- Le suivi des rendements, qui permet de mesurer le rendement des cultures durant la récolte, et de cartographier les rendements en donnant des informations sur la production et la variabilité.
- Les technologies de modulation des doses, qui utilisent un système de contrôle du débit pour adapter l'apport d'intrants à chaque site. Cette approche est utilisée pour moduler l'application d'intrants en fonction des besoins.

Source. D'après Zarco-Tejada et al. (2014), *Precision Agriculture: An opportunity for EU farmers – potential support with the Cap 2014-200*, [www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2014/529049/IPOL-AGRI\\_NT\(2014\)529049\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2014/529049/IPOL-AGRI_NT(2014)529049_EN.pdf).

La gestion des cultures et certains aspects des activités d'élevage peuvent être optimisés, en utilisant les informations collectées par des capteurs embarqués sur les machines agricoles (propriétés des sols, surface foliaire, santé animale), ou dérivées de données de télédétection à haute résolution (état physiologique des plantes). Au cours des ans, la simple utilisation de techniques de « culture en fonction du sol » a laissé la place aux systèmes de guidage des véhicules et aux technologies de modulation qui évolueront à leur tour dans le sens de la gestion de la qualité des produits et de l'environnement. La définition de l'agriculture de précision continue de changer à mesure des avancées technologiques et nous comprenons de mieux en mieux les possibilités offertes (McBratney et al., 2005).

Bien que l'agriculture de précision ait jusqu'ici concerné essentiellement les grandes cultures, les technologies de précision peuvent s'appliquer à tout le système de production agroalimentaire (production animale, aquacole et forestière). C'est sur les terres labourables que l'utilisation des technologies de l'agriculture de précision est la plus répandue et développée. Les producteurs spécialisés en grandes cultures qui exploitent de grands domaines dans les principales régions productrices d'Europe, des États-Unis et d'Australie, et qui ont adopté des modèles d'activité avancés pour une meilleure rentabilité, recourent davantage à l'agriculture de précision.

Le meilleur exemple de réussite de l'agriculture de précision sur des terres labourables est peut-être celui de l'agriculture à circulation raisonnée (CTF) : appliquée sur l'ensemble de l'exploitation, elle vise à éviter que le passage de lourds engins agricoles abîme inutilement les cultures et tasse les sols, ce qui permet de réduire les coûts<sup>1</sup>. En Australie et au Royaume-Uni en particulier, les agriculteurs ont ainsi réussi à faire baisser le coût des machines et des intrants de jusqu'à 75 % dans certains cas, tout en améliorant les rendements (Tulberg et al., 2007 ; Bowman, 2008).

Les technologies de l'agriculture de précision s'appliquent à une large gamme de produits agricoles et horticoles : maïs, soja, pomme de terre, blé, betterave sucrière, canne à sucre, orge, sorgho, coton, avoine, riz, raisin, agrumes, bananes, thé, palmier-dattier, tabac, olives, tomates et kiwis (Bramley, 2009). Le développement et l'adoption de technologies et méthodologies de précision en viticulture sont plus récents que dans le secteur des grandes cultures. L'élevage de précision est axé quant à lui sur la surveillance automatisée de la production de lait et d'œufs de chaque individu ; la détection précoce des maladies ; et le suivi du comportement, de la productivité et de l'environnement physique des animaux (microclimat et émissions de gaz polluants, par exemple).

À l'heure actuelle, les techniques de gestion agricole de précision dépendent presque entièrement du secteur privé qui assure la fourniture des services, dispositifs et produits nécessaires aux agriculteurs. La participation du secteur public est généralement très limitée, malgré l'attention croissante accordée par les pouvoirs publics au rôle de l'innovation pour maintenir plus durablement la productivité. À titre d'exemple d'initiative publique récente visant à « généraliser l'adoption de l'agriculture de précision » on peut citer la création d'un groupe de réflexion à l'Union européenne dans le cadre du *Partenariat européen d'innovation « Productivité et développement durable de l'agriculture »*. Ce groupe s'intéressera pour commencer à la saisie et au traitement des données, mais il est envisagé d'étendre le processus pour réaliser une évaluation comparative fondée sur des observations factuelles des performances de l'agriculture de précision et une étude d'impact.

Les données dont on dispose sur les taux d'adoption sont peu nombreuses et souvent datées parce que les pays ne collectent pas régulièrement de données sur l'utilisation de l'agriculture de précision, et parce que les fabricants et fournisseurs d'équipements divulguent rarement leurs données de vente. Les informations dont on dispose proviennent pour la plupart d'enquêtes sporadiques aussi bien dans le temps que dans l'espace : il est donc difficile d'évaluer avec exactitude le taux d'adoption et les différentes technologies utilisées.

Pour résumer, les résultats des études analysées révèlent des tendances similaires dans plusieurs pays membres de l'OCDE :

- Les taux d'adoption des technologies de l'agriculture de précision n'ont pas évolué aussi rapidement que prévu ;
- Les taux d'adoption des systèmes de guidage automatique sont plus élevés que ceux des technologies de modulation intra-parcellaire des doses ;
- Le pourcentage des exploitants qui ont adopté des techniques de collecte de données (de diagnostique) est plus élevé que celui des exploitants qui utilisent effectivement ces informations aux fins d'une gestion modulée.

La conclusion générale des études disponibles est que l'adoption des technologies de l'agriculture de précision au niveau des exploitations a été lente, inégale – dans l'espace et dans le temps – et qu'elle est souvent moins importante que ce qui était initialement prévu (voir par exemple Bramley, 2009 ; Evans et al., 2013 ; Lamb et al., 2008 ; Reichardt et Jürgens, 2009 ; Griffin et al., 2010 ; Mandel et al., 2011).

En dépit du faible taux d'adoption, le nombre d'exploitants utilisant des technologies agricoles de précision a régulièrement progressé depuis dix ans : en Allemagne, entre 2001 et 2006, le pourcentage d'exploitants pratiquant l'agriculture de précision est passé de 7 % à 11 %, et celui d'agriculteurs non informés a reculé de 46 % à 28 % (Reichardt et al., 2009) ; parmi les producteurs céréaliers d'Australie, ce pourcentage est passé de 5 % en 2006 à 20 % en 2012 (Robertson et al., 2012), et selon une enquête réalisée dans l'Ohio (États-Unis) en 2010, 39 % de l'ensemble des exploitations et 48 % des exploitants affichant plus de 100 000 USD de chiffre d'affaires ont déjà opté pour l'agriculture de précision (Diekmann et Batte, 2010).

Dans l'Union européenne, l'adoption demeure à des niveaux plutôt modestes et se concentre essentiellement dans les grandes exploitations commerciales des grandes régions céréalières de l'UE (Zarco-Tejada et al., 2014). L'utilisation de capteurs pour piloter la fertilisation azotée est très répandue, probablement parce qu'elle aide les agriculteurs à respecter la réglementation de l'UE sur les nitrates et parce qu'elle bénéficie d'aides publiques. Le guidage par GPS suscite un intérêt croissant, surtout dans les zones où les exploitations sont relativement étendues, comme en Allemagne orientale, et les exploitants, mieux informés des possibilités offertes par l'agriculture à circulation raisonnée sur les terres labourables<sup>2</sup>. L'adoption de l'agriculture de précision dans le secteur des fruits et légumes et de la viticulture est plus récente et a été marquée par une forte progression des systèmes de vision numérique.<sup>3</sup> Dans les filières des fruits et légumes à forte valeur, des méthodes d'irrigation de précision sont mises au point pour économiser l'eau, augmenter les rendements et améliorer la qualité, tandis que des systèmes automatiques de suivi individuels sont utilisés pour suivre la croissance animale ainsi que la production de lait et d'œufs, détecter les maladies et surveiller le comportement des animaux et leur environnement physique.

L'adoption de technologies de précision devrait continuer d'évoluer suivant les mêmes schémas : elle devrait progresser plus rapidement là où l'utilisation d'intrants agricoles est déjà relativement efficiente et dans les pays où la main-d'œuvre est peu nombreuse et où les terres sont abondantes (comme l'Australie, les États-Unis ou le Canada), le taux d'adoption s'accroissant lorsque les prix des produits de base sont élevés et les taux d'intérêt, faibles. L'adoption devrait être plus lente dans les pays moins riches en terres mais disposant de beaucoup de main-d'œuvre et de capital (comme l'Europe) (Swinton et Lowenberg-DeBoer, 2001).

Les paragraphes suivants proposent des exemples illustrant la pénétration de ces technologies dans les pays de l'OCDE considérés (Australie, États-Unis, Royaume-Uni et Allemagne) et tentent de repérer les tendances qui se dégagent quant aux technologies adoptées et aux cultures concernées.

#### *Australie – un champion des technologies de guidage par GPS*

Selon une enquête de Robertson et al. (2012), 20 % des céréaliers australiens appliquaient des technologies de précision pour gérer les intrants variables. Jochinke et al. (2007) ont mené en 2006 une enquête auprès des agriculteurs membres de la Wimmera Conservation Farming Association et constaté que 42 % d'entre eux avaient adopté ce type de technologies. Les résultats détaillés de l'enquête sont présentés dans le tableau 6.1. Comme on peut le voir, les systèmes de guidage automatique sont les principales technologies d'AP appliquées. Jochinke et al. (2007) indiquent que leurs résultats sont comparables aux situations observées dans les autres régions d'Australie.

Comme on l'a vu précédemment, l'Australie joué un rôle de pionnier en matière de guidage par GPS (agriculture à circulation raisonnée). Il a été constaté que l'agriculture à circulation raisonnée (CTF) améliorait de 50 % l'économie de carburant déjà permise par les systèmes sans labour (Tullberg, 2009). Cependant, selon les données du Bureau australien de statistique, 25 % seulement des exploitations ont opté à ce jour pour l'agriculture à circulation raisonnée.<sup>4</sup>

Des travaux de recherche publique sont consacrés à la viticulture de précision, et l'application de technologies de précision aux cultures sucrières apparaît aussi intéressante pour des raisons économiques et environnementales. Tullberg et al. (2007) ont passé en revue les taux d'adoption de cette technologie qui sont élevés dans les systèmes de culture australiens.

**Tableau 6.1. Instruments d'agriculture de précision utilisés par les membres de la Wimmera Conservation Farming Association en 2006**

Instruments d'agriculture de précision		Répondants (%) (N=146)
<b>Guidage</b>		
Guidage automatique	2 cm	16
Guidage automatique	10 cm	13
Guidage automatique	< 100 cm	2
Guidage visuel-<1 m, avec barres lumineuses		27
Bras de traceurs		1
<b>Autres</b>		
Cartes de rendement		14
Photos aériennes		3
Sonde EM38 ou radiométrie gamma pour l'analyse des sols		3
Semoirs avec système de modulation		2
Contrôle automatique de profondeur du semis		<1

Source : d'après Jochinke, D.C., B.J. Noonon, N.G. Wachsmann and R.M. Norton (2007), « The adoption of agriculture de précision in an Australian broadacre cropping system—Challenges and opportunities », *Field Crops Research*.

#### *États-Unis : les technologies de suivi des rendements gagnent du terrain*

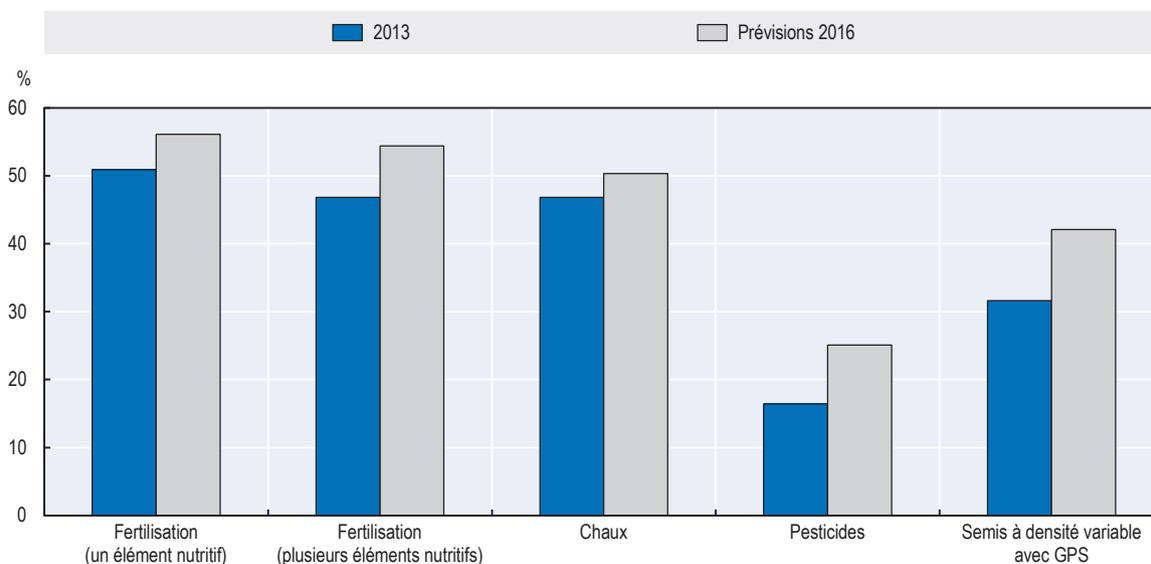
Un rapport du Service de recherche économique du ministère de l'Agriculture des États-Unis (USDA/ERS), établi d'après les données de l'enquête ARMS (Agricultural Resource Management Survey) collectées depuis dix ans, indique que l'adoption par les exploitants des principales technologies informatiques de précision – suivi des rendements, modulation intra-parcellaire des doses et cartographie GPS – a été mitigée (Schimmelpfenning et Ebel, 2011). Si l'adoption des techniques de suivi des rendements, qui marque souvent la première étape de l'utilisation de technologies d'AP en culture céréalière, a bien progressé (elles sont utilisées sur plus de 40 % de la superficie céréalière), les exploitants ont pour la plupart choisi de ne pas la compléter par des cartes GPS détaillées ou des systèmes de modulation des doses qui permettent d'exploiter les informations précises concernant les rendements. L'éducation des responsables d'exploitation, la sophistication technique et le sens de la gestion agricole figurent parmi les facteurs qui, selon le rapport, pourraient expliquer en partie ce retard.

L'étude indique que les exploitants qui appliquent des pratiques culturales anti-érosives ont tendance à adopter plus rapidement des systèmes de suivi des rendements. Les systèmes de guidage, qui permettent aux conducteurs de machines de connaître leur position exacte dans le champ, semblent avoir le vent en poupe puisque 35 % des producteurs de blé les utilisaient en 2009. Les exploitants équipés de dispositifs de suivi des rendements ont obtenu de meilleurs rendements de maïs et de soja que les autres. Bien que les techniques de cartographie par GPS soient moins répandues que celles de suivi des rendements, les producteurs de maïs et de soja qui ont utilisé un GPS ont amélioré leur rendement sur tout le territoire national. Les rendements de ces deux cultures ont été également plus élevés lorsque des technologies de modulation intra-parcellaire ont été utilisées pour l'épandage d'intrants. Les dépenses moyennes de carburant, par unité de surface cultivée, sont inférieures pour les producteurs de maïs et de soja qui utilisent des systèmes de suivi des rendements. L'utilisation de technologies de modulation va de pair avec une baisse des dépenses de carburant pour le maïs et le soja.

L'enquête biennale sur les ventes de services d'agriculture de précision fournit de très nombreuses données sur l'utilisation des technologies agricoles de précision et les services connexes offerts par les entreprises américaines spécialisées (Holland et al., 2013). Le Graphique 6.1 montre qu'en 2013 plus de 50 % des vendeurs d'intrants agricoles considérés offraient des services de modulation intra-parcellaire des doses pour un seul élément nutritif. Pour l'application de plusieurs éléments nutritifs, les entreprises

indiquaient un taux d'adoption légèrement moins élevé. Selon les projections pour 2016 établies par les participants à l'enquête, la demande de technologies de modulation des doses de semences et de pesticides devrait augmenter.

**Graphique 6.1. Technologies de précision à débit variable**



Note : 171 répondants à l'enquête dans 34 états.

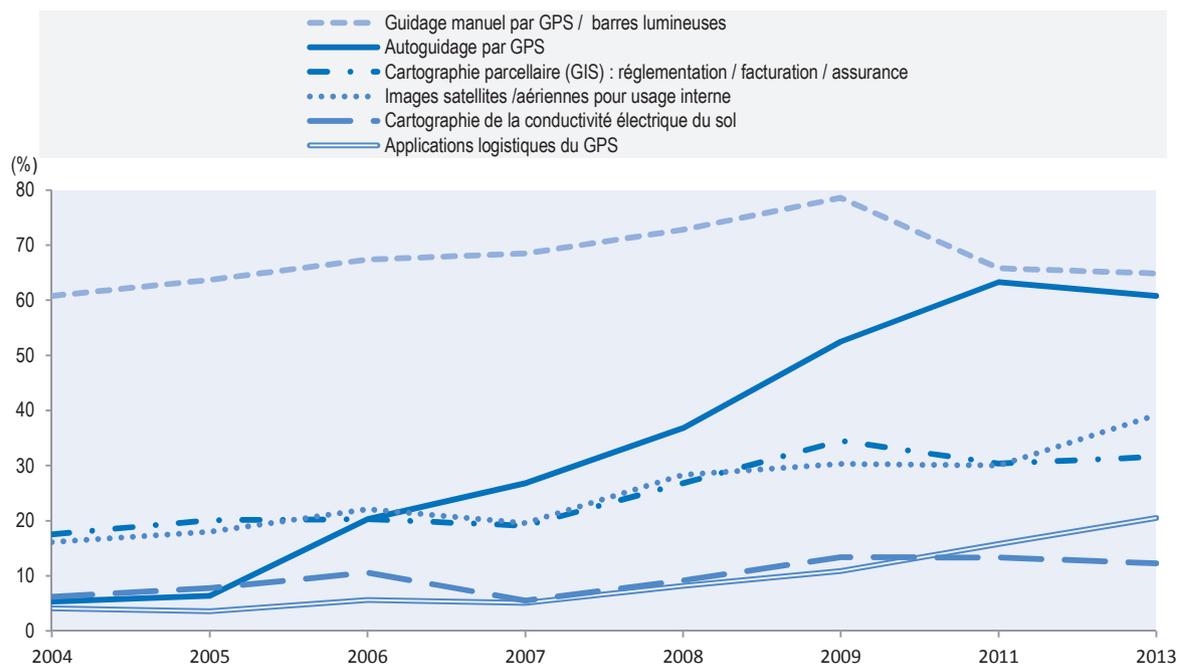
Source : D'après Holland, J.K., B. Erickson et D.A. Widmar (2013), *2013 Precision Agricultural Services Dealership Survey Results*.

Le graphique 6.2 illustre l'adoption des technologies d'agriculture de précision par type de service de 2004 à 2013. L'autoguidage par GPS connaît l'évolution la plus positive en termes de taux d'adoption. L'adoption d'autres technologies, notamment de cartographie parcellaire ou de logistique par GPS, progresse aussi, mais beaucoup moins rapidement que celles d'autoguidage par GPS.

#### *Allemagne : des taux d'adoption en progression*

Les données les plus récentes et les plus complètes concernant l'adoption de technologies d'agriculture de précision par les exploitants sont fournies par Reichardt et Jürgens (2009). Selon leur étude, le pourcentage des exploitants pratiquant l'agriculture de précision est passé d'environ 7 % en 2001, à plus de 10 % en 2007. L'étude a constaté que la plupart des agriculteurs ayant adopté des technologies d'agriculture de précision sont plus actifs dans le domaine des techniques de collecte de données que dans celui des techniques de modulation des doses.

Les deux raisons les plus souvent invoquées pour justifier l'adoption de techniques d'agriculture de précision étaient l'amélioration de la précision des activités agricoles (76 % des exploitations en 2012) et la réduction des coûts d'intrants (63 % des exploitations en 2012). Dans l'enquête de 2012 presque la moitié des agriculteurs qui n'utilisaient pas ces techniques faisaient valoir qu'elles n'étaient pas rentables et/ou que les coûts étaient trop élevés au démarrage ; 28 % déclaraient qu'elles n'étaient pas appropriées ou adaptées au type ou à la taille de leur exploitation ; et 27 % considéraient qu'elles étaient trop compliquées.

**Graphique 6.2. Adoption des technologies d'agriculture de précision dans le temps, par type de service**

Note: 171 répondants à l'enquête dans 34 états.

Source : Graphique 20 dans Holland, J.K., B. Erickson et D.A. Widmar (2013), *2013 Precision Agricultural Services Dealership Survey Results*.

#### Royaume-Uni : des taux d'adoption en progression

En Angleterre, 22 % des exploitations étudiées en 2012 avaient adopté des technologies basées sur le GPS, en particulier des systèmes d'autoguidage. L'adoption d'autres applications de l'agriculture de précision (échantillonnage du sol, modulation des doses ou cartographie des rendements) a progressé entre 2009 et 2012 (tableau 6.2).

**Tableau 6.2. Proportion d'exploitations utilisant des techniques d'agriculture de précision**

Technique	2009	2012
	% d'exploitation	
GPS (système mondial de localisation)*	14	22
Cartographie des sols	14	20
Modulation des doses	13	16
Cartographie des rendements	7	11
Téléométrie	1	2

Note : Données basées sur les réponses d'au moins 1392 exploitations en 2009 et 2731 en 2012.

Source : D'après Department for Environment, Food and Rural Affairs (2013), *Farm Practices Survey Autumn 2012-England*, [www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/181719/defra-stats-foodfarm-environment-statsrelease-autumn2012edition-130328.pdf](http://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/181719/defra-stats-foodfarm-environment-statsrelease-autumn2012edition-130328.pdf) (consulté le 4 février 2014).

## D'importants gains d'efficience et de productivité des ressources

Les agriculteurs qui ont déjà adopté des technologies d'agriculture de précision ou qui envisagent de le faire sont la plupart du temps motivés dans cette décision par la perspective d'accroître la rentabilité (Diekmann et Batte, 2010 ; Reichardt et al., 2009). Le recours à ces technologies permet d'améliorer l'efficience technologique et allocative en utilisant des techniques et des sources d'information perfectionnées dans le but de rendre le système de gestion plus efficace. Par essence, l'agriculture de précision améliore la productivité des ressources en permettant une utilisation plus efficace des ressources naturelles.

Comme nous l'avons déjà noté, l'agriculture de précision est une forme de gestion des exploitations qui repose sur la collecte d'informations et l'aide à la prise de décision dont le but est d'améliorer le processus agricole en intervenant avec précision à chaque étape. Elle peut ainsi constituer un système de gestion dans lequel la production et la rentabilité agricoles sont optimisées moyennant l'utilisation de moins d'intrants (machines, main-d'œuvre, engrais, produits chimiques, semences, eau, énergie, etc.), ce qui améliore la productivité et la gestion et la qualité du travail, tout en apportant des avantages environnementaux.

L'objectif de l'agriculture de précision est d'obtenir soit un rendement des cultures similaire avec moins d'intrants, soit un rendement des cultures supérieur avec le même volume d'intrants en les utilisant de manière plus efficace. En règle générale, cette pratique s'apparente aux investissements consacrés à l'exploitation des terres. Sa mise en œuvre engendre des coûts d'information, des frais de traitement des données, des dépenses de matériel informatique et de logiciels, ainsi que des coûts d'apprentissage dus au fait que l'exploitant doit élaborer des systèmes de gestion et calibrer ses machines. À l'inverse, l'adoption de technologies de précision peut réduire les frais de carburant et d'engrais par rapport à ceux engendrés par les méthodes agricoles conventionnelles. Les différentes technologies ne contribuent pas de la même manière à l'efficience technologique et allocative et leur rentabilité peut se révéler extrêmement variable.

L'agriculture à circulation raisonnée (CTF) et les systèmes de guidage automatique sont les techniques les plus rentables sur les terres labourables puisque les études montrent qu'elles procurent de nets avantages dans la quasi-totalité des cas. Les résultats sont toutefois très contrastés pour les technologies à débit variable, qui permettent par exemple d'optimiser l'épandage d'engrais ou de pesticides sur les zones qui en ont besoin.

Plusieurs études ont conclu que l'utilisation de ces technologies pour l'épandage d'engrais ne présentait aucun intérêt financier notable. Les avantages financiers tirés des méthodes de modulation des débits dépendent du type de culture, de la zone géographique, de la taille des champs et du type d'agriculture, du facteur limitant (eau ou éléments nutritifs) ainsi que des intrants effectivement utilisés. Les études expérimentales révèlent des effets économiques différents selon l'élément considéré (épandage différencié d'engrais azotés, phosphatés et potassiques).

Les expériences d'épandage modulé d'engrais azotés ont livré des résultats mitigés aux États-Unis, en Australie et au Danemark en n'entraînant pas nécessairement de réduction des taux d'épandage (encadré 6.2). La situation est encore différente en ce qui concerne l'application ciblée d'engrais phosphorés et potassiques. D'un point de vue agronomique, dans les systèmes arables, ces engrais peuvent être appliqués à des intervalles de quelques années selon les caractéristiques nutritives du sol et il n'est souvent pas nécessaire d'ajuster l'application d'engrais en fonction des besoins effectifs de la plante alors cultivée.

C'est pourquoi, dans le cas du phosphore et du potassium, les techniques d'agriculture de précision s'appuient généralement plus sur les caractéristiques du sol. En particulier lorsque la superficie cultivée est importante, des prestataires peuvent proposer de cartographier la teneur en éléments nutritifs du sol, ce qui peut guider l'application d'engrais phosphorés et potassiques.

### Encadré 6.2. Impacts économiques : conclusions des observations empiriques

D'après les résultats de 234 études publiées entre 1988 et 2005, l'agriculture de précision est rentable dans 68 % des cas en moyenne (Griffin et Lowenberg-DeBoer, 2005). Le rapport USDA/ERS a mis en lumière qu'aux États-Unis : i) à l'échelle du territoire, les cultivateurs de maïs et de soja utilisant des contrôleurs de rendement obtenaient des rendements largement supérieurs à ceux de leurs homologues n'ayant pas recours à ces équipements ; ii) les cultivateurs de maïs et de soja utilisant des contrôleurs de rendement affichaient des frais de carburant par acre inférieurs ; iii) les dépenses moyennes d'engrais par acre étaient légèrement supérieures pour les cultivateurs de maïs utilisant des contrôleurs de rendement mais elles étaient inférieures pour les cultivateurs de soja ; iv) les frais moyens de carburant par acre étaient inférieurs pour les cultivateurs utilisant des technologies d'épandage d'engrais à débit variable pour le maïs et le soja, tout comme pour les cultivateurs de soja ayant recours à des systèmes de guidage ; v) les utilisateurs de systèmes de cartographie GPS et de technologies d'épandage d'engrais à débit variable affichaient des rendements plus élevés pour le maïs et le soja (Schimmelpfening et Ebel, 2011). Godwin et al. (2003) ont montré qu'en 2011, les technologies d'agriculture de précision à bas coût pouvaient être rentables à partir de 80 hectares de superficie exploitée, contre 250 hectares pour les systèmes intégrés. Les prix des céréales et engrais azotés ayant doublé depuis, tandis que ceux de ces équipements restaient stables, la superficie minimum permettant de les rentabiliser s'est réduite, améliorant la rentabilité de l'agriculture de précision pour les exploitations de taille moyenne, une tendance qui devrait continuer. D'autres éléments donnent à penser que de plus en plus d'exploitants devraient adopter ces technologies dans l'avenir, notamment le fait que, d'après les études, leurs utilisateurs sont souvent jeunes (Diekmann et Batte, 2010) et diplômés du supérieur (Diekmann et Batte, 2010, Reichardt et al., 2009) – la tendance générale va à l'augmentation du niveau d'instruction et les jeunes générations maîtriseront mieux les technologies de l'information.

#### *Technologies à débit variable*

Thöle et Ehler (2010) ont analysé un capteur pendulaire de biomasse (« crop-meter »). Ils ont conclu que l'utilisation de ce capteur pouvait améliorer l'efficacité de l'apport d'azote de 10 à 15 % en réduisant les volumes appliqués sans impact sur le rendement des cultures. Un fournisseur allemand de technologies d'agriculture de précision a fait état d'une hausse de 5 % du rendement des cultures de blé d'hiver pour la même quantité d'engrais épandue et d'une augmentation de 5 % du rendement des cultures moyennant une réduction de 12 % de l'épandage d'engrais ([www.agricon.de/nc/de/produkte-leistungen/sensoren-agronomie/effekte-im-getreide?cid=2743&did=1718&sechash=fb130ca9](http://www.agricon.de/nc/de/produkte-leistungen/sensoren-agronomie/effekte-im-getreide?cid=2743&did=1718&sechash=fb130ca9)). En se fondant sur certaines considérations théoriques appliquées à l'épandage d'engrais sur les cultures de maïs aux États-Unis, Dillon et Kusunose (2013) montrent que les taux d'application ne seraient pas nécessairement réduits par l'utilisation de technologies à débit variable. Le bilan des expériences d'apport modulé d'azote est tout aussi mitigé en Australie, au Danemark et ailleurs (Lawes et Robertson, 2011, Biermacher et al., 2009, Boyer et al., 2011 ; Berentsen et al., 2002, cités dans Oleson et al., 2004).

D'après les études menées par Anselin et al. (2004) et Meyer-Aurich et al. (2008, 2010), l'apport ciblé d'engrais azotés représenterait un gain financier brut compris entre 10 et 25 EUR par hectare en Allemagne, selon le type de capteur utilisé et la taille du champ, avec une amélioration de 10 à 15 % de l'efficacité de l'apport en azote grâce à une réduction de l'épandage sans impact sur le rendement des cultures. Pour cela, l'évaluation des critères économiques a révélé que la superficie cultivée devait être supérieure à 250 hectares pour que ces techniques apportent un avantage financier. D'après d'autres études, les analyses économiques et statistiques menées sur une période de dix ans n'ont révélé aucun avantage économique significatif, au sens statistique du terme, à utiliser des capteurs pour moduler l'épandage d'engrais (Boyer et al., 2011). Cette conclusion rejoint des observations antérieures (Liu et al., 2006 ; Anselin et al., 2004), selon lesquelles la rentabilité serait inférieure à 8 EUR par hectare, ce qui couvre à peine les coûts de mise en place. Selon des études menées au Danemark, les apports différenciés d'engrais entre les zones à faible et à haut rendement d'un champ à l'aide de capteurs n'ont aucun effet économique (travaux de Berentsen, cités dans Oleson et al., 2004).

#### *Systèmes de guidage automatique*

Au Royaume-Uni, les avantages financiers des systèmes de guidage ont été estimés à au moins 2.2 EUR par hectare pour une exploitation de 500 hectares (Knight et al., 2009) mais ces avantages s'accroissent avec l'adoption d'autres systèmes plus complexes tels que l'agriculture à circulation raisonnée (2-5 %), qui augmenteraient les recettes de 18 à 45 EUR par hectare pour le blé d'hiver. En Allemagne, il a été estimé que la réduction des intrants représentait un gain de 27 EUR par hectare pour cette même culture.

La situation est analogue pour l'application ciblée de chaux. Le pH du sol est un paramètre agronomique important qui peut considérablement varier sur les parcelles. Il influence directement la disponibilité des éléments nutritifs pour les cultures puisque ces éléments ne sont solubles que dans une certaine fourchette de pH. Un pH déséquilibré entraîne des pertes financières et des problèmes environnementaux. Ainsi, la modulation des apports de chaux peut optimiser la disponibilité des nutriments sur toute la superficie du champ. La cartographie des sols ou les systèmes de contrôle du pH embarqués peuvent être employés pour cartographier la répartition spatiale des taux de pH sur la

parcelle et prescrire les taux d'application de chaux appropriés (Bongiovanni et Lowenberg-DeBoer, 2000 ; Wang et al., 2003).

La lutte raisonnée contre les mauvaises herbes et les ravageurs peut contribuer à réduire fortement l'application de pesticides et donc à rendre leur utilisation plus efficace. Les systèmes de guidage automatique sont bien connus pour accroître l'efficacité des intrants en évitant les zones de chevauchement lors de l'épandage. Les avantages économiques ont été bien étudiés et contribuent au succès de cette technologie de précision (Knight et al., 2009).

À titre d'exemple, les investissements à consentir pour mettre en place des systèmes de guidage automatique sont généralement inférieurs à ceux d'autres technologies d'agriculture de précision, pour un risque inférieur, et les résultats obtenus sont plus convaincants pour l'exploitant. Par ailleurs, ces systèmes sont simples d'utilisation et ne requièrent aucune expérience en agronomie. Leurs avantages, comme l'amélioration de la rentabilité, résident dans la réduction du coût des intrants (semences, engrais, produits chimiques, carburant et main d'œuvre) et l'accroissement des rendements, la simplification et l'accélération des tâches, l'amélioration des conditions de travail et la possibilité d'étendre les horaires de travail sur la parcelle.

Quoi qu'il en soit, les technologies d'agriculture de précision ont pour but d'optimiser l'utilisation des intrants plutôt que d'augmenter la production par hectare. En outre, ces technologies n'ont que peu d'effet sur les fonctions de production, à l'exception de l'irrigation de précision, qui améliore généralement les rendements des cultures.

L'agriculture de précision peut également avoir un effet favorable sur les ressources naturelles grâce à la lutte raisonnée contre les ravageurs. Une autre technique de précision, l'agriculture à circulation raisonnée, présente elle aussi un avantage : elle optimise l'utilisation des ressources en réduisant le nombre de traces de passage sur le sol et en rendant l'espace ainsi préservé aux cultures, tout en limitant les compactations du sol dues aux machines lourdes.

Pour compenser leur coût, les technologies d'agriculture de précision doivent accroître les revenus, ce qui peut se faire au détriment de l'environnement. Cependant, même si l'agriculture de précision dispose d'une information juste, une application des intrants au mauvais moment peut avoir des répercussions négatives sur l'environnement. En effet, Morari et al. (2013) ont montré que les normes exigeantes concernant la qualité du blé pouvaient inciter à utiliser de grandes quantités d'engrais afin de tirer davantage parti des prix de vente plus élevés du blé de grande qualité.

Il serait toutefois possible d'avoir recours aux technologies d'agriculture de précision pour bénéficier de ces avantages financiers. De plus, Meyer-Aurich et al. (2010) ont montré que de mauvaises décisions sur l'application d'engrais peuvent se révéler onéreuses si, outre le rendement, la qualité de la production est influencée par le taux d'épandage. Une gestion raisonnée de l'exploitation a plus de chances d'être rentable dès lors que l'on s'attache à la qualité, d'autant que plus les parcelles sont hétérogènes, plus il est avantageux de pratiquer des apports différenciés plutôt que de traiter la parcelle de manière uniforme. Dans ce cas particulier, seules les technologies d'agriculture de précision permettent d'améliorer la qualité.

### **Effet positif sur l'emploi dans les secteurs amont et aval mais variable sur les exploitations**

Les informations sur les effets de l'agriculture de précision sur l'emploi ou la main d'œuvre agricole sont peu nombreuses. Néanmoins, l'étude réalisée par CropLife en 2013 donne un aperçu des tendances que ces technologies impriment indirectement au travail hors de l'exploitation (Holland et al., 2013). On peut supposer que les négociants, concessionnaires et fabricants d'équipements ou fournisseurs d'intrants recherchent de plus en plus à employer des candidats formés à l'agriculture de précision.

Des observations ponctuelles révèlent que l'adoption de ces technologies accroît le temps consacré au travail de bureau par rapport aux méthodes agricoles conventionnelles (Möbius, 2012). Meyer-Aurich et al. (2008) livrent une analyse économique des technologies d'agriculture de précision à

l'échelon de l'exploitation et concluent que, selon sa taille et sa structure, la mise en place de ces technologies peut réduire les besoins de main d'œuvre en raison des possibilités d'automatisation qu'offrent les technologies de modulation.

Cette observation est confirmée par Pedersen et al. (2006), qui montrent que les systèmes autonomes nécessitent des investissements importants mais moins de main d'œuvre que les systèmes classiques car ils sont plus souples et peuvent considérablement réduire les coûts de main d'œuvre et les contraintes liées aux restrictions sur le temps de travail quotidien. Kingwell et Fuchsbichler (2011) ont montré que, dans le contexte *australien*, la quantité de travail nécessaire, et donc le coût de la main d'œuvre, pouvait être réduite par rapport à celle des exploitations conventionnelles grâce à l'agriculture à circulation raisonnée. Maheswari et al. (2008) ont toutefois mis en lumière que le coût de la main d'œuvre par hectare (pour la production de légumes) pouvait être nettement accru par le recours à l'agriculture de précision par rapport à l'utilisation de méthodes conventionnelles.

L'adoption de pratiques d'agriculture de précision a des répercussions sur la gestion et l'organisation de l'exploitation. Il faut notamment y mettre en place des systèmes et processus informatiques. Dans certains cas, il est possible que l'exploitant ait recours aux services de prestataires spécialisés dans l'agriculture de précision et à des services de vulgarisation agricole. Les pratiques d'agriculture de précision comme les systèmes de guidage peuvent rendre la main d'œuvre plus disponible, ce qui a un effet indirect sur d'autres pratiques agricoles. Par ailleurs, l'adoption de technologies de précision peut avoir des répercussions sur les pratiques des exploitants voisins en influant sur la location de terres ou d'outils technologiques (Batte, 2003).

En résumé, les informations disponibles donnent à penser que les technologies d'agriculture de précision ont un effet positif sur l'emploi dans les secteurs amont et aval mais potentiellement négatif au sein de l'exploitation en raison des possibilités d'automatisation qu'elles offrent. On peut néanmoins s'attendre à ce que ces technologies augmentent la productivité de la main d'œuvre sur l'exploitation. Les conclusions d'études dans ce domaine étant limitées, il est important que les futurs travaux de recherche analysent plus en détail les effets sur l'emploi de l'agriculture de précision.

### **Amélioration de l'empreinte écologique de l'agriculture**

Si les techniques de l'agriculture de précision peuvent paraître intéressantes pour gérer les effets indirects des activités agricoles sur l'environnement et réduire la pollution, leurs avantages environnementaux n'ont toutefois pas été encore véritablement évalués et les données chiffrées font défaut.

Il ressort de certains travaux de recherche que la gestion modulée des intrants, notamment des engrais et des produits chimiques, que permettent les technologies de l'AP peut améliorer l'empreinte écologique des activités agricoles. L'agriculture de précision, en réduisant par exemple le chevauchement des passages des machines, limite les émissions de GES et la pollution diffuse de l'eau par les engrais, les produits agrochimiques et les carburants. Les systèmes de cartographie et de guidage par GPS permettent d'éviter les excès de pulvérisation en signalant précisément les zones déjà traitées.

On peut citer aussi des exemples concernant le lessivage des nitrates dans les systèmes de culture, qui démontrent que les méthodes de modulation intra-parcellaire des doses ont réussi à réduire la pollution des eaux souterraines, et que les méthodes de l'agriculture de précision peuvent réduire l'érosion par un travail du sol différencié. Bongiovanni et Lowenberg-Deboer (2004) présentent un examen de la littérature sur les effets environnementaux.

### **Obstacles au développement du potentiel de la croissance verte**

L'adoption de l'agriculture de précision en est toujours à ses débuts et toutes les technologies de l'information qu'elle met en jeu ne se diffuseront probablement pas dans tous les pays, ni uniformément à l'intérieur de chacun d'entre eux. Le coût élevé et la complexité de ces technologies, la formation des

exploitants et le sens de la gestion agricole qu'exige la pratique de cette agriculture, ainsi que l'impossibilité de concrétiser les avantages économiques attendus dans certains cas figurent parmi les principaux facteurs faisant obstacle à une adoption plus large qu'évoquent plusieurs études (Khanna et al., 1999 ; Griffin et al., 2004 ; Reichardt et Jürgens, 2009 ; Robertson et al., 2012 ; Rutt, 2011). Une adoption à plus grande échelle dépendra en grande partie de la baisse du prix des technologies de l'agriculture de précision et/ou de leur plus grande facilité d'installation et d'entretien.

*Les caractéristiques structurelles des exploitations sont des facteurs d'adoption déterminants*

L'agriculture de précision se caractérise par une série de méthodes, de démarches et d'outils que les exploitants doivent étudier en détail pour décider de la formule optimale à adopter pour leur activité. Les facteurs au niveau de l'exploitation, tels que la taille de cette dernière, ou la surface et la géométrie des parcelles, ainsi que l'hétérogénéité des sols jouent un rôle prépondérant dans l'adoption des technologies de l'agriculture de précision et influent par conséquent dans une large mesure sur son potentiel de croissance. L'un des objectifs des technologies de modulation des doses étant de gérer l'hétérogénéité intra-parcellaire du sol, un degré raisonnable d'hétérogénéité observable constitue évidemment une condition préalable pour que l'exploitant envisage de gérer cette hétérogénéité. Toutefois, si la technologie ne permet qu'une réduction limitée des doses d'intrants utilisés sur une zone donnée de la parcelle, il est fort probable que l'amélioration de la rentabilité soit très faible<sup>5</sup>.

S'agissant de la taille de l'exploitation, il est évident que les économies d'échelle constituent un élément important du calcul de l'avantage économique et de la décision d'adopter des technologies de l'agriculture de précision particulièrement coûteuses : les estimations coûts-avantages indiquent en effet que, pour amortir l'investissement sur l'ensemble de l'exploitation, il faut que celle-ci ait une taille minimale (Kingwell et Fuchsichler, 2011). Des études démontrent que, dans l'Union européenne, les systèmes d'autoguidage sont rentables s'ils sont mis en œuvre sur des parcelles de 100 à 300 ha (Frank et al., 2008 ; Lawes et Robertson, 2011)<sup>6</sup>.

En plus de la taille de la parcelle, savoir si les caractéristiques de l'exploitation se prêtent à une mise en œuvre des méthodes de l'agriculture de précision constitue un autre aspect important pour une adoption réussie. Si la parcelle est de petite taille ou si l'exploitant n'est pas propriétaire des technologies, il peut être préférable de recourir à des entreprises de services agricoles spécialisés, à la mutualisation des moyens de production et aux approches coopératives pour introduire les technologies de l'agriculture de précision.

Wagner (2009) présente des estimations de coûts pour trois approches technologiques différentes de la fertilisation azotée modulée (tableau 6.3). Le coût annuel d'un système de capteurs a diminué passant de 21.38 EUR par ha, sur une surface cultivée de 250 ha, à seulement 5.35 EUR par ha sur une surface de 1 000 ha. Ainsi, de nombreux rapports indiquent que l'accroissement de la taille de l'exploitation a un effet positif sur la probabilité d'adoption des technologies de l'agriculture de précision (Roberts et al., 2004 ; McBride et Daberkow, 2003, par exemple).

Tableau 6.3. Coûts estimés de trois stratégies de fertilisation modulée

	Cartographie	Capteurs	Services en ligne par internet
Matériel/logiciels	Terminal équipé d'un GPS (4 800 EUR), contrôleur de rendement pour la moissonneuse-batteuse (8 500 EUR), logiciel SIG (1 500 EUR)	Yara-N-Sensor® avec terminal et installation (22 350 EUR)	Yara-N-Sensor® avec terminal et installation (22 350 EUR), contrôleur de rendement pour la moissonneuse-batteuse (8 500 EUR)
<b>Coûts annuels*</b>	<b>3 010 EUR</b>	<b>4 545 EUR</b>	<b>6 274 EUR</b>
Informations complémentaires	-	-	Mesures de la conductivité électrique (5 EUR, une fois tous les 6 ans)
<b>Coût annuel par ha*</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1.02 EUR</b>
Prestataire de services	Préparation des cartes (2 EUR/ha)	Contrôle annuel du système (800 EUR)	Traitement des données, élaboration des règles de décision (2 EUR/ha), contrôle annuel du système (800 EUR)
<b>Coût annuel *</b>	<b>2 EUR/ha</b>	<b>800 EUR p.a.</b>	<b>2 EUR/ha + 800 EUR p.a.</b>
Coût/ha (250 ha)	14.04 EUR	21.38 EUR	31.31 EUR
Coût/ha (500 ha)	8.02 EUR	10.69 EUR	17.17 EUR
Coût/ha (1000 ha)**	5.01 EUR	5.35 EUR	10.09 EUR

\* Calculés selon la méthode de l'amortissement croissant, durée d'amortissement de 6 ans pour le matériel et les logiciels, taux d'intérêt de 6 %.

\*\* La deuxième moissonneuse-batteuse nécessaire pour une surface de 1 000 ha n'est pas équipée d'un contrôleur de rendement.

Source : Wagner, P. (2009), « The economic potential of Precision Farming – An interim report with regard to nitrogen fertilization » dans E.J. van Henten et al. (2009), *Precision Agriculture '09*.

### *Un haut niveau d'expertise de l'exploitant agricole est indispensable*

L'agriculture de précision est une approche de l'activité agricole qui exige un haut niveau d'expertise de par la masse d'informations à traiter et le volume de connaissances incorporées. Le concept même de l'AP est fondé essentiellement sur la collecte de données, leur traitement et la gestion modulée des intrants. Pour en exploiter pleinement le potentiel, la difficulté tient à l'impératif d'intégrer toutes les données à un plan applicable à l'échelle intra-parcellaire. Compte tenu de la masse de données susceptibles d'être collectées entre le semis et la récolte, certains agriculteurs risquent de manquer de moyens pour les traduire en informations exploitables.

L'absence de sensibilisation, les délais requis pour apprendre à manier les technologies, le manque de connaissances techniques, l'incompatibilité de machines provenant de fabricants différents, le coût élevé des technologies, et la difficulté de quantifier les avantages de l'agriculture de précision figurent parmi les principaux obstacles le plus fréquemment mentionnés par les agriculteurs aux États-Unis, en Europe et en Australie (Diekmann et Batte, 2010 ; Reichardt et al., 2009 ; Reichardt et Jurgens, 2009).

Les agriculteurs peuvent être rebutés par la complexité des technologies à utiliser. La création par les pouvoirs publics d'un environnement porteur peut beaucoup contribuer à l'adoption de l'agriculture de précision par les exploitants, en leur fournissant soutien et conseil dans le cadre élargi que constitue le système national de connaissances et d'innovation agricoles (SCIA), où interagissent une multitude d'acteurs. L'acquisition et le transfert de connaissances en matière d'agriculture de précision doivent

être aussi simples que possible. Plusieurs études sur la pratique de l'AP menées aux États-Unis, au Royaume-Uni, au Danemark et en Allemagne ont fait apparaître que les coûts élevés et le très long processus d'apprentissage qu'elle impose constituent les principaux facteurs responsables de la lenteur de la diffusion des connaissances dans ce domaine.

S'agissant des technologies de l'information en agriculture, Fernandez-Cornejo et al. (2001) constatent que la probabilité d'adoption des technologies de l'agriculture de précision est supérieure de 15 % chez les exploitants agricoles ayant fait des études supérieures. D'après Griffin et al. (2004), l'adoption de l'AP est « à forte intensité de capital humain ». Ces observations peuvent être mises en rapport avec un aspect de l'adoption des technologies qui a été constaté dans d'autres contextes agricoles : l'apprentissage par la pratique. Il a été montré que l'aversion pour le risque a un impact négatif important sur l'adoption des technologies de l'information, et pèse davantage dans la décision que tous les autres facteurs réunis (Fernandez-Cornejo, et al 2001).

Les facteurs qui ralentissent l'adoption dans certaines régions sont liés au capital social et à la puissance des réseaux d'information. Kutter et al. (2011) analysent les facteurs sociaux, tels que le rôle de la communication et de la coopération dans l'adoption des technologies de l'AP. Pour ce qui est de la communication, ils étudient diverses sources d'information et différents canaux de communication et leur impact sur l'adoption de ces technologies. Par ailleurs, ils examinent les investissements conjoints, le recours à des entreprises de services agricoles, et la sous-traitance des données en tant que formes possibles de coopération.

Sur la base d'entretiens qualitatifs, Kutter et al. (2011) concluent que la littérature professionnelle, les journées de rencontre des acteurs de l'agriculture et les salons jouent un rôle clé en tant qu'instruments de communication. Ils constatent aussi que la coopération entre prestataires de services, agriculteurs et industriels est importante pour faire avancer le processus d'adoption.

Ces conclusions sont conformes à l'analyse de Aubert et al. (2012) qui soulignent qu'il importe de coordonner tous les acteurs (agriculteurs, fournisseurs d'intrants, équipementiers et courtiers) afin d'améliorer l'adoption des technologies. De telles actions de coordination pourraient être lancées par des coopératives ou des associations d'agriculteurs (Aubert et al., 2012). McBride et Daberkow (2003) font observer que le soutien technique personnalisé (assuré, par exemple, par des conseillers en phytotechnie et/ou des fournisseurs d'intrants) a une incidence très importante sur la probabilité d'adoption des technologies de l'AP par l'exploitant (voir aussi Bramley et Trengove, 2013).

Par ailleurs, Aubert et al. (2012) reconnaissent que les programmes de formation sont une question déterminante dans le processus d'adoption des technologies de l'agriculture de précision. Zhang et al. (2002) constatent aussi que des programmes de formation à destination des différents acteurs (chercheurs, industriels, vulgarisateurs et conseillers) sont nécessaires pour accélérer la mise en œuvre de ces technologies. Reichardt et al. (2009), qui sont parvenus à des conclusions analogues, soulignent l'importance d'enseigner l'agriculture de précision dans les établissements d'enseignement professionnel et technique afin d'en améliorer la mise en œuvre.

Parmi les autres facteurs sociaux et socio-économiques étudiés dans la littérature figurent la formation et l'âge des exploitants agricoles (voir Adrian et al., 2005 ; Aubert et al., 2012 ; Walton et al., 2008). McBride et Daberkow (2003) montrent que la probabilité qu'un agriculteur se convertisse à l'agriculture de précision diminue avec l'âge. Néanmoins, Aubert et al. (2012) ne constatent pas de corrélation entre l'âge des exploitants et les taux d'adoption.

Pour ce qui est de la formation, un niveau d'étude assez élevé influe sur la probabilité d'adoption, en raison de la sophistication des technologies et souvent de leur complexité d'utilisation (Aubert et al., 2012 ; Reichardt et Jürgens, 2009 ; McBride et Daberkow, 2003). Toutefois, Pannell et al. (2006) estiment que, pour les prévisions d'adoption, la participation à des formations technologiques spécifiques est probablement plus déterminante que le niveau de formation.

*Des coûts de démarrage élevés freinent l'adoption*

L'avantage relatif des technologies de l'agriculture de précision par rapport à l'agriculture classique (et, par exemple, à une gestion uniforme des intrants) est un facteur important qui a une incidence sur l'adoption (Aubert et al., 2012) et, par conséquent, sur le potentiel de développement de ces technologies. Cet avantage relatif peut présenter des dimensions économiques, sociales ou environnementales (Pannell et al., 2006).

En termes d'avantage économique relatif, on peut affirmer que, pour la plupart des technologies de modulation intra-parcellaire des doses, l'économie de l'exploitation affiche actuellement des résultats mitigés en raison du coût élevé de ces technologies et de l'apprentissage qu'elles nécessitent, de leur complexité, de l'absence de compatibilité de leurs composants technologiques, de l'absence ou de l'insuffisance des algorithmes de décision, et de l'effet de frein exercé par l'aplatissement de la courbe de rentabilité. Par exemple, selon le mode de gestion des engrais azotés utilisé, le coût annuel des technologies de gestion modulée (non compris les coûts d'apprentissage) varie de 3 010 EUR à 6 274 EUR (tableau 6.3). Cela représente une importante dépense d'équipement pour assurer un épandage mieux ciblé d'engrais azotés.

Il ressort d'un examen de 108 études réalisé par Lambert et Lowenberg-DeBoer (2000) que 63 % des études analysées font état d'un résultat net positif des démarches d'agriculture de précision. Toutefois, 11 % des études affichent des résultats négatifs et 26 % des résultats mitigés (Lambert et Lowenberg-DeBoer, 2000). Même si cet examen date de 14 ans, il continue de refléter la situation économique de l'agriculture de précision (tableau A6.1).

Un autre facteur important ayant une incidence sur l'avantage relatif et, par conséquent, sur le potentiel de croissance des applications de l'agriculture de précision concerne la disponibilité d'algorithmes de décision appropriés. Ces algorithmes confèrent aux données collectées sur un site particulier leur pertinence en termes de gestion modulée. Sans eux, les agriculteurs sont incapables de traduire ces données spatialisées en informations agronomiques utiles pour la gestion modulée des cultures. La gestion modulée repose sur une interaction complexe de facteurs agronomiques, pathologiques et hydriques des sols. Par exemple, les caractéristiques agronomiques des sols peuvent influencer sur les mouvements hydriques des sols et la prévalence de maladies à petite échelle dans n'importe quel champ particulier.

Les algorithmes mentionnés ci-dessus peuvent être établis pour répondre à différents critères. Par exemple, la maximisation des rendements peut ne pas être l'objectif poursuivi sur toutes les parties d'un champ. Des programmes pour la gestion des champs sont en cours d'élaboration afin de minimiser les coûts sur des sites prédéterminés qui sont connus pour leurs rendements inférieurs dans les champs d'un exploitant agricole. McBride et Daberkow (2003) ainsi que Reichardt et Jürgens (2009) étayaient cet argument par des données empiriques. Ils montrent que le pourcentage d'exploitants qui ont adopté les techniques de collecte de données (à des fins de diagnostic) est beaucoup plus élevé que le pourcentage de ceux qui ont réellement exploité cette information pour la gestion modulée. Wagner (2009) souligne l'importance des règles de décision pour l'économie de l'agriculture de précision. Gandorfer et al. (2011) estiment aussi que l'élaboration d'algorithmes de décision à objectifs économiques est déterminante pour l'avenir des applications de l'agriculture de précision.

Enfin, Aubert et al. (2012) montrent clairement que la majorité des facteurs évoqués ci-dessus jouent un rôle primordial dans la décision d'adoption. De plus, ces conclusions sont en grande partie confirmées par les résultats de l'enquête menée par Reichardt et Jürgens (2009), qui sont présentés dans le tableau 6.4.

Globalement, les conditions décrites ci-dessus expliquent les faibles taux d'adoption de nombre de technologies de modulation intra-parcellaire des doses. En revanche, l'avantage relatif économique et social plus notable qu'offrent les systèmes d'autoguidage ou de gestion automatique des tronçons des pulvérisateurs conduit à des taux d'adoption beaucoup plus élevés.

Du point de vue environnemental, on pourrait dire que les technologies de l'agriculture de précision procurent des avantages relatifs si les algorithmes de décision répondent à des considérations environnementales ou en tiennent compte. Toutefois, l'avantage relatif sur le plan environnemental ne semble pas être (actuellement tout au moins) un facteur décisif d'adoption (Reichardt et Jürgens, 2009).

**Tableau 6.4. Raisons faisant hésiter à introduire l'agriculture de précision (plus d'une réponse possible)**

Réponses	2001* (N=126)	2003 (N=137)	2005 (N=167)	2006 (N=47)
Les machines sont encore trop chères	42.1	44.1	62.9	63.8
La technique est très compliquée à utiliser	6.3	5.1	11.4	8.5
L'avantage des techniques de l'AP n'a pas encore été démontré	11.1	9.6	9	4.4
J'attends d'avoir la preuve que l'AP ne pose plus de problèmes	28.6	20.6	24	25.5
Je veux pratiquer l'AP mais je n'en ai pas eu encore le temps	15.4	9.6	13.2	6.4
Mes parcelles sont trop petites	15.4	18.4	17.4	46.8

Les valeurs sont exprimées en % .

\*Les enquêtes ont été menées de 2001 à 2005 au salon Agritechnica et en 2006 aux Journées des professionnels de l'agriculture de DLG.

Source : D'après Reichardt, M. et C. Jürgens (2009), « Adoption and future perspective of agriculture de précision in Germany: Results of several surveys among different agricultural target groups », *Precision Agriculture*, vol. 10, pp. 73-94.

## Notes

1. L'agriculture à circulation raisonnée (CTF) confine tous les déplacements des véhicules agricoles dans des zones minimales de passage permanent à l'aide de technologies GNSS et de systèmes d'aide à la décision.
2. La création d'une association européenne pour promouvoir le développement de l'agriculture à circulation raisonnée témoigne de l'intérêt croissant que suscite en Europe la technologie CTF ([www.controlledtrafficfarming.com](http://www.controlledtrafficfarming.com)).
3. En viticulture de précision par exemple, l'évaluation de la qualité du raisin et les cartes de rendement obtenues par des instruments de télédétection et de saisie au champ évitent de mélanger des grappes de qualité différente au moment des vendages.
4. Source: ABS ARMS survey. Nombre d'entreprises agricoles pratiquant l'agriculture à circulation raisonnée.
5. Cela signifie que même des écarts relativement importants par rapport à des décisions de gestion optimale des intrants (de l'azote, par exemple) peuvent n'avoir que peu d'incidence sur la rentabilité attendue. En d'autres termes, la courbe de rentabilité est plate près de l'optimum, souvent sur un intervalle relativement étendu (Pannel, 2006).
6. S'agissant de l'efficacité d'utilisation des ressources et du traitement individuel des superficies des terres, des plantes ou des animaux, il est important d'obtenir des informations sur les changements qui se produisent dans le champ ou le troupeau d'animaux. Sur les petites exploitations, des applications simples fondées, par exemple, sur des téléphones portables et des étiquettes d'identification conviennent souvent pour informer sur les

changements spécifiques au site ou à l'animal, et ces applications peuvent guider l'utilisateur dans sa prise de décision (par exemple, Cunha et al. 2010; Delgado et al., 2013; So-In, et al., 2014). Les traitements peuvent comprendre un contrôle manuel lorsque cela est jugé nécessaire, si les solutions automatisées sont trop onéreuses.

### *Bibliographie*

- Adrian, A.M., S.H. Norwood et P.L. Mask (2005), « Producers' perceptions and attitudes toward precision agriculture technologies », *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 48, n° 3.
- Anselin, L., R. Bogiovanni et J. Lowenberg-Deboer (2004), « A spatial econometric approach to the economics of site-specific nitrogen management in corn production », *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 86, n° 3.
- Aubert, B.A., A. Schroeder et J. Grimaudo (2012), « IT as enabler of sustainable farming: An empirical analysis of farmers' adoption decision of precision agriculture technology », *Decision Support Systems*, vol. 54, n° 1.
- Auernhammer, H. (2001), « Precision farming - The environmental challenge », *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 30, n° 1-3.
- Bachmaier, M. et M. Gandorfer (2009), « A conceptual framework for judging the precision agriculture hypothesis with regard to site-specific nitrogen application », *Precision Agriculture*, vol. 10, n° 2.
- Batte, M. (2003), « Precision farming and land leasing practices », *Journal of the ASFMRA*, vol. 66.
- Batte, M.T. (1999), « Precision farming - Factors influencing profitability », Northern Ohio Crops Day meeting, Wood County, Ohio, 21 janvier, <http://aede.osu.edu/sites/drupal-aede.web/files/PrecisionFarming.pdf>.
- Berntsen, J., A. Thomsen, K. Schelde et O. Hansen (2002), « Ny strategi for GPS- gødskning med sensor », *Agrologisk*, vol. 3, numéro 2.
- Biermacher, J.T., B.W. Brorsen, F.M. Epplin, J.B. Solie et W.R. Raun (2009), « The economic potential of precision nitrogen application with wheat based on plant sensing », *Agricultural Economics*, vol. 40, n° 4.
- Bongiovanni, R. et J. Lowenberg-Deboer (2000), « *Economics of Variable Rate Lime in Indiana* », *Precision Agriculture*, vol. 2, pp. 55-70.
- Bongiovanni, R. et J. Lowenberg-DeBoer (2004), « Precision agriculture and sustainability », *Precision Agriculture*, vol. 5, pp. 359-87.
- Bowman, K. (2008), « Economic and environmental analysis of converting to Controlled Traffic Farming », Proceedings, 6<sup>th</sup> Australian Controlled Traffic Farming Conference, Dubbo, NSW, Australian Controlled Traffic Farming Association, [www.ctfsolutions.com.au/ebm3-doc/132275/Bowman%20Economics.pdf](http://www.ctfsolutions.com.au/ebm3-doc/132275/Bowman%20Economics.pdf).
- Boyer, C.N., B. Wade Brorsen, J.B. Solie et W.R. Raun (2011), « Profitability of variable rate nitrogen application in wheat production », *Precision Agriculture*, vol. 12.
- Bramley, R. (2009), « Lessons from nearly 20 years of precision agriculture research, development, and adoption as a guide to its appropriate application », *Crop & Pasture Science*, vol. 60.
- Bramley, R. et S. Trengove (2013), « Precision agriculture in Australia: Present status and recent developments », *Engenharia Agrícola*, vol. 33, n° 3.

- Bullock, D. S. et J. Lowenberg-DeBoer (2007), « Using spatial analysis to study the values of variable rate technology and information », *Journal of Agricultural Economics*, vol. 58, n° 3.
- Bullock, D.G., D.S. Bullock, E.D. Nafziger, T.A. Doerge, P.R. Carter, T.A. Peterson et S.R. Paszkiewicz (1998), « Does variable rate seeding of corn pay? », *Agronomy Journal*, vol. 90, n° 6.
- Dammer, K. (2005), *Demonstration der Langzeitwirkung bedarfsorientierter Fungizidbehandlung mit dem CROP-Meter*, Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 41 Eigenverlag, Potsdam.
- Defra (2013), *Farm Practices Survey Autumn 2012- England*, ministère de l'Environnement, de l'Alimentation et des Affaires rurales, [www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/181719/defra-stats-foodfarm-environ-fps-statsrelease-autumn2012edition-130328.pdf](http://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/181719/defra-stats-foodfarm-environ-fps-statsrelease-autumn2012edition-130328.pdf) (consulté le 4 février 2014).
- DeJonge, K.C., A.L. Kaleita et K.R. Thorp (2007), « Simulating the effects of spatially variable irrigation on corn yields, costs, and revenue in Iowa », *Agricultural Water Management*, vol. 92, pp. 99-109.
- Diekmann, F. et M. Batte (2010), « 2010 Ohio farming practices survey: Adoption and use of precision farming technology in Ohio », rapport n° AEDE-RP-0129-10.
- Dillon, C.R. et Y. Kusunose (2013), *Dispelling Misperceptions regarding Variable Rate Application*, *Precision Agriculture '13*, J.V. Stafford, Wageningen Academic Publishers.
- Evans, R.G., J. LaRue, K.C. Stone et B.A. King (2013), « Adoption of site-specific variable rate sprinkler irrigation systems », *Irrigation Science*, vol. 31.
- Fernandez-Cornejo, J., S. Daberkow et W. McBride (2001), « Decomposing the size effect on the adoption of innovations: Agrobiotechnology and precision agriculture », *AgBioForum*, vol. 4, n° 2.
- Frank, H., M. Gandorfer et P. Noack (2008), « Ökonomische Bewertung von Parallelfahrssystemen », in R. Müller, H. Sundermeier, L. Theuvsen, S. Schütze et M. Morgenstern, Referate der 28. GIL-Jahrestagung in Kiel 2008.
- Gandorfer, M., A. Meyer-Aurich et M. Kapfer (2011), « Ökonomische Aspekte von Precision Farming - aktueller Stand und Perspektiven », *Jahrbuch der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie*, vol. 20, pp. 34-43.
- Gebbers, R. et V.I. Adamchuk (2010), « Precision agriculture and food security », *Science*, vol. 327.
- Gerhards, R. et H. Oebel (2006), « Practical experiences with a system for site-specific weed control in arable crops using real-time image analysis and GPS-controlled patch spraying », *Weed Research*, vol. 46.
- Godwin, R., T. Richards, G. Wood, J. Welsh et S. Knight (2003), « An economic analysis of the potential for precision farming in UK cereal production », *Biosystems Engineering*, vol. 84.
- Griffin, T. et J. Lowenberg-DeBoer (2005), « Worldwide adoption and profitability of precision agriculture: Implications for Brazil », *Revista de Política Agrícola*, vol. 4, [www.embrapa.br/publicacoes/tecnico/revista-Agricola/rpa-de-2005/pol\\_agr\\_04-2005-p-pg-embrapa.pdf](http://www.embrapa.br/publicacoes/tecnico/revista-Agricola/rpa-de-2005/pol_agr_04-2005-p-pg-embrapa.pdf).
- Griffin, T., J. Lowenberg-DeBoer, D. Lambert, J. Peone, T. Payne et S. Daberkow (2004), « Adoption, profitability, and making better use of precision farming data », *Staff Paper*, numéros 04-06, Department of Agricultural Economics, Purdue University, <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/28615/1/sp04-06.pdf>.
- Griffin, T., R. Bongiovanni et J. Lowenberg-DeBorer (2010), « Worldwide adoption of precision agriculture technology: The 2010 update », communication présentée à la 10<sup>ème</sup> Conférence européenne sur l'agriculture de précision, Denver, CO, 22 juillet 2010.

- Henkel, J., S. Schöberl et O. Alexy (2013), « The emergence of openness: How and why firms adopt selective revealing in open innovation », *Research Policy*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2013.08.014>.
- Holland, J.K., B. Erickson et D.A. Widmar (2013), *2013 Precision Agricultural Services Dealership Survey Results*, Department of Agricultural Economics, Purdue University, West Lafayette.
- Jochinke, D.C., B.J. Noonon, N.G. Wachsmann et R.M. Norton (2007), « The adoption of precision agriculture in an Australian broadacre cropping system—Challenges and opportunities », *Field Crops Research*, vol. 104, n° 1-3, pp. 68-76.
- Khanna, M., O. Epough et R. Hornbaker (1999), « Site-specific crop management: Adoption patterns and incentives », *Review of Agricultural Economics*, vol. 21, n° 2.
- Kingwell, R. et A. Fuchsbichler (2011), « The whole-farm benefits of controlled traffic farming: An Australian appraisal », *Agricultural Systems*, vol. 104, pp. 513-21.
- Knight, S., P. Miller et J. Orson (2009), « An up-to-date cost/benefit analysis of precision farming techniques to guide growers of cereals and oilseeds », *HGCA Research Review 2009*, n° 71, Home-Grown Cereals Authority (HGCA), [www.hgca.com/media/276988/rr71-final-project-report.pdf](http://www.hgca.com/media/276988/rr71-final-project-report.pdf) (consulté le 10 février 2014).
- Kutter, T., S. Tiemann, R. Siebert et S. Fountas (2011), « The role of communication and co-operation in the adoption of precision farming », *Precision Agriculture*, vol. 12, pp. 2-17.
- Lamb, D.W., P. Fraizer et P. Adams (2008), « Improving pathways to adoption: Putting the right P's in precision agriculture », *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 61, n° 1.
- Lambert, D.M. et J. Lowenberg-DeBoer (2000), *Precision agriculture profitability review*, West Lafayette, Site Specific Management Center, School of Agriculture, Purdue University, <http://agriculture.purdue.edu/SSMC> (consulté le 10 février 2014).
- Lawes, R.A. et M.J. Robertson (2011), « Whole farm implications on the application of variable rate technology to every cropped field », *Field Crops Research*, vol. 124, pp. 142-48.
- Maheswari, R., K.P. Ashok et M. Prahadeeswaran (2008), « Precision farming technology, adoption decisions and productivity of vegetables in resource-poor environments », *Agricultural Economic Research Review*, vol. 21, pp. 415-24.
- Maine, N., J. Lowenberg-DeBoer, W.T. Nell et Z.G. Alemu (2010), « Impact of variable-rate application of nitrogen on yield and profit: A case study from South Africa », *Precision Agriculture*, vol. 11, pp. 448-63.
- Mandel, R., R. Lawes et M. Robertson (2011), « What's preventing growers from implementing precision agriculture (PA)? », in J. Paterson et C. Nicholls, *Agribusiness Crop updates 2011*, Perth, pp. 148-52.
- Marchant, B., M. Oliver, T. Bishop et B. Whelan (2013), « The economics of precision agriculture », in M. Oliver, T. Bishop et B. Marchant, *Precision Agriculture for Sustainability and Environmental Protection*, Routledge, Abington, UK.
- McBratney, A., B. Whelan et T. Ancev (2005), « Future directions of precision agriculture », *Precision Agriculture*, vol. 6, pp. 7-23.
- McBride, W.D. et S.G. Daberkow (2003), « Information and the adoption of precision farming technologies », *Journal of Agribusiness*, vol. 21, numéro 1.
- Meyer-Aurich, A., A. Weersink, M. Gandorfer et P. Wagner (2010), « Optimal site-specific fertilization and harvesting strategies with respect to crop yield and quality response to nitrogen », *Agricultural Systems*, vol. 103.

- Meyer-Aurich, A., M. Gandorfer et A. Heißenhuber (2008), « Economic analysis of precision farming technologies at the farm level: Two German case studies », in O.W. Castalonge, *Agricultural Systems: Economics, Technology, and Diversity*, Nova Science Publishers, Hauppauge NY, États-unis.
- Ministère de l'Environnement, de l'Alimentation et des Affaires rurales (2013), *Farm Practices Survey Autumn 2012- England*, [www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/181719/defra-stats-foodfarm-enviro-fps-statsrelease-autumn2012edition-130328.pdf](http://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/181719/defra-stats-foodfarm-enviro-fps-statsrelease-autumn2012edition-130328.pdf) (consulté le 4 février 2014).
- Möbius, J. (2012), « Görminer Landwirtschaftsbetrieb Peenetal », *Neue Landwirtschaft*, vol. 7, p. 45.
- Morari, F., S. Loddo, P. Berzaghi, J.C. Ferlito, A. Berti, L. Sartori, G. Visioli, N. Marmioli, D. Piragnolo et G. Mosca (2013), « Understanding the effects of site-specific fertilization on yield and protein content in durum wheat », in J.V. Stafford, *Precision Agriculture '13*, pp. 321-27, Wageningen Academic Publishers.
- Olesen, J., P. Sørensen, I. Thomsen, J. Eriksen, A. Thomsen et J. Berntsen, J. (2004), « Integrated nitrogen input systems in Denmark », in A. Mosier, J. Syers et J. Freney (dir. pub.) (2004), *Agriculture and the Nitrogen Cycle: Assessing the Impacts of Fertilizer Use on Food Production and the Environment*, Island Press, Washington; Covelo, Londres.
- Pannell, D.J. (2006), « Flat earth economics: The far-reaching consequences of flat payoff functions in economic decision making », *Review of Agricultural Economics*, vol. 28, n° 4.
- Pannell, D.J., G.R. Marshall, N. Barr, A. Curtis, F. Vanclay et R. Wilkinson (2006), « Understanding and promoting adoption of conservation practices by rural landholders », *Australian Journal of Experimental Agriculture*, vol. 46, n° 11.
- Pedersen, S.M., S. Fountas, H. Have et B.S. Blackmore (2006), « Agricultural robots – System analysis and economic feasibility », *Precision Agriculture*, vol. 7, pp. 295-308.
- Pierce, F.J. et P. Nowak (1999), « Aspects of precision agriculture », *Advances in Agronomy*, vol. 67.
- Reichardt, M. (2010), « Precision Farming in der deutschen Landwirtschaft – eine GIS – gestützte Analyse », Dissertation, Ruhr-Universität, Bochum, [www-brs.ub.ruhr-uni-bochum.de/netahtml/HSS/Diss/ReichardtMaik/diss.pdf](http://www-brs.ub.ruhr-uni-bochum.de/netahtml/HSS/Diss/ReichardtMaik/diss.pdf) (consulté le 4 février 2014).
- Reichardt, M. et C. Jürgens (2009), « Adoption and future perspective of precision farming in Germany: Results of several surveys among different agricultural target groups », *Precision Agriculture*, vol. 10, pp. 73-94.
- Reichardt, M., C. Jürgens, U. Klöble, J. Hüter et K. Moser (2009), « Dissemination of precision farming in Germany: Acceptance, adoption, obstacles, knowledge transfer and training activities », *Precision Agriculture*, vol. 10, pp. 525-45.
- Roberts, R.K., B. English, J. Larson, R. Cochran, C. Goodman, S. Larkin, M. Marra, S. Martin, W. Shurley et J. Reeves (2004), « Adoption of site-specific information and variable-rate technologies in cotton precision farming », *Journal of Agriculture and Applied Economics*, vol. 36, n° 1.
- Robertson, M., R. Llewellyn, R. Mandel, R. Laws, R. Bramley, L. Swift, N. Metz et C. O'Callaghan (2012), « Adoption of variable rate fertiliser application in the Australian grains industry: Status, issues and prospects », *Precision Agriculture*, vol. 13, pp. 181-199.
- Rutt, K. (2011), *Precision Farming braucht einen Neuanfang*, DLG-Mitteilungen9/2011.
- Schimmelpfening, D. et R. Ebel (2011), « On the doorstep of the information age - Recent adoption of precision agriculture », ministère de l'Agriculture des États-Unis, service de

recherche économique, *Economic Information Bulletin*, n° 80,  
[www.ers.usda.gov/media/81195/eib80\\_1\\_.pdf](http://www.ers.usda.gov/media/81195/eib80_1_.pdf)

- Schneider, M. et P. Wagner (2008), Ökonomische Effekte der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung auf betrieblicher Ebene, in A. Werner, F. Dreger et J. Schwarz, *Informationsgeleitete Pflanzenproduktion mit Precision Farming als zentrale inhaltliche und technische Voraussetzung für eine nachhaltige Entwicklung der landwirtschaftlichen Landnutzung – Preagro II*, [www.preagro.de/Veroeff/preagro\\_Abschlussbericht\\_2008.pdf](http://www.preagro.de/Veroeff/preagro_Abschlussbericht_2008.pdf).
- Swinton, S.M. et J. Lowenberg-DeBoer (2001), « Global adoption of precision agriculture technologies: Who, when and why? », in G. Grenier et S. Blackmore (dir. pub.), 3<sup>ème</sup> *Conférence européenne sur l'agriculture de précision*, pp. 557-62, Agro Montpellier (ENSAM), Montpellier.
- Thöle, H. et D. Ehlert (2010), « Biomass related nitrogen fertilization with a crop sensor », *Applied Engineering in Agriculture*, vol. 26, n° 5.
- Tullberg, J., A. McHugh, B. Gharee Khabbaz, C. Scheer et P. Grace (2011), « Controlled traffic/permanent bed farming reduces GHG emissions », 5e Congrès mondial de l'agriculture de conservation (WCCA), « Resilient Food Systems for a Changing World », 26-29 septembre 2011, Brisbane, Australie.
- Tullberg, J., D. Yule et D. McGarry (2007), « Controlled traffic farming – From research to adoption in Australia », *Soil and Tillage Research*, vol. 97.
- Vellidis, G., B. Oritz, J. Beasley, R. Hill, H. Henry et H. Brannen (2013), « Using RTK-based GPS guidance for planting and inverting peanuts », in J.V. Stafford (dir. pub.), *Precision Agriculture '13*, 9<sup>ème</sup> *Conférence européenne sur l'agriculture de précision*, Wageningen Academic Publishers.
- Wagner, P. (2009), « The economic potential of Precision Farming - An interim report with regard to nitrogen fertilization », in E.J. van Henten, D. Goense et C. Lokhorst (dir. pub.) (2009), *Precision Agriculture '09*, 7<sup>ème</sup> *Conférence européenne sur l'élevage de précision*, Wageningen Academic Publishers.
- Wagner, P. et M. Schneider (2007), « Economic benefits of neural network-generated site-specific decision rules for nitrogen fertilization », in J.V. Stafford (dir. pub.), *Precision Agriculture '07*, 6<sup>ème</sup> *Conférence européenne sur l'élevage de précision*, Wageningen Academic Publishers.
- Walton, J.C., D. Lambert, R. Roberts, J. Larson, B. English, S. Larkin, S. Martin, M. Marra, K. Paxton et J. Reeves (2008), « Adoption and abandonment of precision soil sampling in cotton production », *Journal of Agricultural and Resource Economics*, vol. 33, n° 3.
- Wang, D., Prato, T., Qiu, Z., Kitchen, N. et K. Sudduth (2003), « Economic and environmental evaluation of variable rate nitrogen and lime application for claypan soil fields », *Precision Agriculture*, vol. 4.
- Yule, D. et W. Chapman (2011), « Controlled traffic farming - More productivity, sustainability and resilience », communication présentée au 5<sup>e</sup> World Congress of Conservation in Agriculture incorporating 3<sup>rd</sup> Farming Systems Design Conference, Brisbane.
- Zarco-Tejada, P., N. Hubbard et P. Loidjani (2014), *Precision Agriculture: An Opportunity for EU Farmers – Potential Support with the CAP 2014-2020*, département thématique des politiques structurelles et de cohésion, agriculture et développement rural, Parlement européen, [www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2014/529049/IPOL-AGRI\\_NT%282014%29529049\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2014/529049/IPOL-AGRI_NT%282014%29529049_EN.pdf).
- Zhang, N., M. Wang et N. Wang (2002), « Precision agriculture—A worldwide overview », *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 36, n° 2-3.

## Annexe 6A

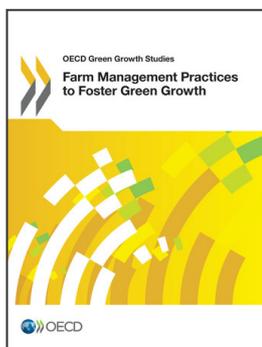
## Les avantages économiques de l'agriculture de précision

Tableau 6A.1. Avantages économiques des technologies d'agriculture de précision

Technologie de précision	Culture	Lieu	Effet économique	Source
Apport modulé d'azote	Blé d'hiver, canola	Allemagne	Augmentation du bénéfice net de 16 EUR/ha avec le N-sensor de Yara, par rapport à un traitement uniforme. Baisse du bénéfice net de 11 EUR/ha avec recours à la cartographie, par rapport à un traitement uniforme. Hors coût de la technologie.	Schneider et Wagner (2008)
Apport modulé d'azote	Blé d'hiver	États-Unis (Oklahoma)	Augmentation du bénéfice net (compte tenu des dépenses d'investissement liées aux capteurs et à l'épandage) de 15 USD avec un système d'apport complémentaire d'azote modulé par capteurs, d'après des expériences menées sur neuf sites durant neuf années.	Biermacher et al. (2009)
Apport modulé d'azote	Blé	États-Unis (Oklahoma)	Aucune augmentation du bénéfice net avec l'apport modulé d'azote, l'apport complémentaire uniforme de 90 kg d'azote/ha affiche en moyenne la meilleure rentabilité nette.	Boyer et al. 2011
Apport modulé d'azote	Mais	Afrique du Sud	L'apport modulé d'azote est légèrement plus rentable que la méthode conventionnelle de fertilisation.	Maine et al. 2010
Apport modulé d'azote et de chaux	Soja/mais	États-Unis/Canada	Augmentation des recettes annuelles pouvant aller jusqu'à 20 USD/ha.	Bongiovanni et Lowenberg-DeBoer (2000)

Tableau 6A.1. Avantages économiques des technologies d'agriculture de précision (suite)

Technologie de précision	Culture	Lieu	Effet économique	Source
Apport modulé d'azote et de phosphore	Céréales	Australie	Potentiel économique positif sur six des 20 parcelles étudiées, avec un gain supplémentaire de 15 AUD/ha hors coûts liés à la collecte d'informations et à l'application à débit variable.	Lawes et Robertson (2011)
Apport modulé de pesticides	Blé d'hiver	Allemagne	L'investissement initial à consentir pour le pulvérisateur de fongicides à capteurs s'élève à 13 000 EUR, rentabilisés dans un délai d'environ 2 ans sur une exploitation de 1 000 ha, dont 60 % consacrés à la culture de céréales.	Dammer (2005)
Irrigation modulée	Mais	États-Unis (Iowa)	L'irrigation de précision présente un intérêt économique dans un des 28 cas étudiés.	DeJonge et al. (2007)
Guidage automatique	Céréales et graines oléagineuses	Angleterre	Gain estimé à au moins 2 GBP/ha pour une exploitation de 500 ha.	Knight et al. (2009)
Guidage automatique	arachides	États-Unis (Géorgie)	Gain estimé à 34 USD/ha par rapport au guidage traditionnel	Vellidis et al. (2013)
Coupeure automatique des tronçons	Mais/soja	États-Unis (Kentucky)	Gains pouvant atteindre 36 USD/ha grâce à la réduction des intrants	Shockley et al. (2012)
Agriculture à circulation raisonnée	Blé d'hiver	Angleterre	Augmentation de 16-40 GBP/ha des recettes	Knight et al. (2009)
Agriculture à circulation raisonnée	Rotations de cultures diverses	Australie	Augmentation du bénéfice d'environ 50 % (à l'échelle de l'exploitation)	Kingwell et Fuchsbichler (2011)



Extrait de :  
**Farm Management Practices to Foster Green Growth**

Accéder à cette publication :  
<https://doi.org/10.1787/9789264238657-en>

**Merci de citer ce chapitre comme suit :**

OCDE (2016), « L'agriculture de précision est-elle le début d'une nouvelle révolution ? », dans *Farm Management Practices to Foster Green Growth*, Éditions OCDE, Paris.

DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264252721-8-fr>

Cet ouvrage est publié sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE. Les opinions et les arguments exprimés ici ne reflètent pas nécessairement les vues officielles des pays membres de l'OCDE.

Ce document et toute carte qu'il peut comprendre sont sans préjudice du statut de tout territoire, de la souveraineté s'exerçant sur ce dernier, du tracé des frontières et limites internationales, et du nom de tout territoire, ville ou région.

Vous êtes autorisés à copier, télécharger ou imprimer du contenu OCDE pour votre utilisation personnelle. Vous pouvez inclure des extraits des publications, des bases de données et produits multimédia de l'OCDE dans vos documents, présentations, blogs, sites Internet et matériel d'enseignement, sous réserve de faire mention de la source OCDE et du copyright. Les demandes pour usage public ou commercial ou de traduction devront être adressées à [rights@oecd.org](mailto:rights@oecd.org). Les demandes d'autorisation de photocopier une partie de ce contenu à des fins publiques ou commerciales peuvent être obtenues auprès du Copyright Clearance Center (CCC) [info@copyright.com](mailto:info@copyright.com) ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC) [contact@cfcopies.com](mailto:contact@cfcopies.com).