



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université des Frères Mentouri Constantine
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة
كلية علوم الطبيعة و الحياة

Département : Biologie et Ecologie Végétale

قسم : بيولوجيا و علم البيئة النباتية

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et Environnement

Spécialité : Protection des écosystèmes

Intitulé :

Apports de la télédétection et des systèmes d'information géographique dans l'agriculture de précision

Présenté et soutenu par : BENDJAMA Oumaima

DEROUAZ Rayane Yousra

Le : /09/2020

Jury d'évaluation :

Président : ARFA Azzedine Mohamed Touffik

MCB – UFM Constantine 1

Encadreur: GANA Mohamed

MAB – UFM Constantine 1

Examineur : BENDERRADJI Mohamed El Habib

Prof – UFM Constantine 1

Examineur : ALATOU Djamel

Prof – UFM Constantine 1

*Année universitaire
2019 – 2020*

Remerciement

Nous remercions tout d'abord Allah le tout puissant de nous avoir donné la santé, le courage et la patience afin de pouvoir accomplir ce modeste travail dans ces conditions difficiles (de la pandémie).

Une grande gratitude à notre encadreur Mr Gana qui nous a soutenu pendant toutes les étapes de la réalisation à distance de ce travail en exprimant un grand intérêt dans son accomplissement.

Nos remerciements vont également aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer notre travail de recherche.

A tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin, par un geste, une parole ou un conseil, on leur dit merci.

Notre reconnaissance à tous nos enseignants qui nous ont assuré des études de haut niveau et qui nous ont permis d'acquérir des connaissances.

Dédicace

Au nom du dieu le clément et le miséricordieux louange à ALLAH le tout puissant.

A mes parents, en témoignage de ma gratitude pour leur écoute, leur

Soutien et leurs encouragements dans les moments difficiles, sans vous rien n'aurait été possible, merci pour votre soutien et votre amour.

A mes tantes « Wafa » et « Wassila » pour sa présence tout le temps, ma grande mère puisse Dieu lui prêter longue vie et beaucoup de santé et de bonheur, mon feu grand père décédé allah yerhmou, et mon oncle « Fares et Yacine »

A ma sœur « Malak », mes frères « Hakim et Redwane » qui m'ont aidé de près et de loin

A mon cousin « Khalil » et ma cousine « Aziza »

A ma chère amie « Wafa »

A mon binôme « Oumeïma » et toute sa famille

Dédicace

Je dédie cette mémoire à MES CHERS PARENTS

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

A celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue tout au long de ce projet : mon fiancé

HAROUN

A mon frère Oussama que j'aime profondément et sa femme Amel

A celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue tout au long de ce projet : mon fiancé

HAROUN

A Ma sœur Noussa la prunelle de mes yeux et son mari Mohamed

A mon petit frère Midou que j'adore

*A mes chères nièce et petit neveu : Minnet Elrahmen Mohja et Taj Mohamed Mortada,
Puisse Dieu vous garder, éclairer votre route et vous aider à réaliser à votre tour vos vœux
les plus chers.*

A mes cousines Hadil et Soundouce

*A ma grande mère Rachida : Qui m'a accompagné par ses prières, sa douceur, puisse Dieu
lui prêter longue vie et beaucoup de santé et de bonheur dans les deux vies.*

*A la mémoire de mes grands parents et de ma grande mère : J'aurais tant aimé que vous
soyez présents. Que Dieu ait vos âmes dans sa sainte miséricorde*

A mon binôme Yousra et sa famille et mon amie Oumeima

Liste des Abréviations

FAO: Food and Agriculture Organization

GPS: Global Positioning System

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index.

pIR : Canal proche infrarouge.

R : canal rouge.

SIG : Système de l'Information Géographique

Liste des Figures

Figure 01 :	Cartographie de rendement à partir des mesures réalisées par la moissonneuses- batteuse en combinant un capteur de rendement sur l'élévateur et le GPS, l'ordinateur de bord de la moissonneuse-batteuse établissait une carte de rendement	05
Figure 02 :	Contexte de l'agriculture de précision.	08
Figure 03 :	Signatures spectrales des principales surfaces naturelles	10
Figure 04 :	Exemple d'image satellitaire sur une parcelle expérimentale dans la région d'El khroub.....	10
Figure 05 :	L'intérêt des images à très haute résolution (Googlr Earth) pour gérer la variabilité inter ou Intra-parcellaire.....	11
Figure 06 :	Application de la télédétection pour le pilotage des cultures.....	12
Figure 07 :	l'impact du stress sur la valeur NDVI d'un couvert végétal source.....	13
Figure 08 :	Couplage de la télédétection et de mesures du sol.....	13
Figure 09 :	Exemple de localisation d'analyses de sol sur une parcelle expérimentale.	15
Figure 10 :	Exemple de carte de rendement corrigée sur une parcelle expérimentale "Imbault"	16
Figure 11 :	Méthode de mesure de la résistivité électrique.....	17
Figure 12 :	Exemple de carte de résistivité électrique sur une parcelle expérimentale ...	18
Figure 13 :	La variabilité spatiale du système de production à travers des informations stockées dans une base des données.....	19
Figure 14 :	Le rôle du S.I.G. en agriculture de précision.....	20
Figure 15 :	L'intérêt économique de la modulation intra-parcellaire.....	22
Figure 16.	Fonctionnement du système N-sensor (La modulation directe).....	23
Figure 17 :	model d'une carte de préconisation de fertilisation azotée estimée indirectement à partir d'indices de végétation mesurant la biomasse.....	25
Figure 18 :	Diagramme fonctionnel d'une démarche de gestion modulée, d'après McBratney et Taylor (2000). Ce schéma met l'accent sur l'importance du géoréférencement, au coeur des quatre étapes fondamentales du processus de gestion de la variabilité.....	26
Figure 19 :	Les étapes de la modulation indirecte de l'agriculture de précision	26
Figure 20 :	interface graphique du modèle AquaCrop.....	29
Figure 21 :	échelle d'acquisition des données et du processus de modélisation.....	30

Table des matières

Liste des Abréviations

Liste des Figures

Introduction.....	01
Chapitre I : L’agriculture de précision, une approche de l’agriculture durable.....	02
I.1. Agriculture intelligente.....	02
I.2. L'agriculture durable.....	02
I.3. L'émergence de l'agriculture de précision.....	03
I.4. Le concept de l’agriculture de précision.....	04
I.5. Agriculture de précision et agriculture durable « mentionner la différence »	05
I.6. Planification de l’agriculture de précision	06
I.6.1. Observer.....	06
I.6.2. Analyser.....	07
I.6.3. Agir.....	07
I.7. Les enjeux de l'agriculture de précision.....	07
I.7.1. Un gain économique.....	08
I.7.2. La préservation de l'environnement.....	08
CHAPITRE II : Valorisation des outils géomatiques en agriculture de précision	09
II.1. Les images satellitaires et aériennes issues de la télédétection.....	09
II.1.1. Observation par télédétection d’une surface végétale.....	09
II.1.2. Mise en œuvre de la télédétection pour le pilotage des cultures.....	11
II.1.3. Les indices de végétation.....	12
II.2. Les analyses de sol.....	14
II.3. Les cartes de rendement.....	15
II.4. La conductivité et la résistivité électrique du sol.....	17
II.5. La base de données des surfaces cultivées.....	19
II.6. L'utilité des S.I.G. en agriculture de précision.....	20
II.7. Analyse spatiale et agriculture de précision.....	21
II.8. La gestion modulée des cultures.....	22
II.8.1. L’intérêt économique de la modulation intra-parcellaire.....	22

II.8.2. Types de modulation et étapes de la pratique de l'agriculture de précision.....	23
II.8.2.1. La modulation directe.....	23
II.8.2.2. La modulation indirecte.....	24
II.9. Les modèles de culture.....	27
II.9.1. Généralités sur les modèles de culture.....	27
II.9.2. Types de modèles de culture.....	27
II.9.3. Calibration et validation d'un modèle de culture.....	28
II.9.4. Spatialisation d'un modèle de culture.....	28
II.9.5. Le modèle AquaCrop.....	28
Chapitre III : Les principales contraintes du développement d'une agriculture de précision en Algérie	31
III.3.1. Les contraintes socio-économiques.....	31
III.3.2. Les contraintes technologiques.....	32
III.3.3. Les contraintes liées à la gestion agronomique.....	33
Conclusion.....	35

Références Bibliographiques

Résumé

Introduction

Introduction

Aujourd'hui, le secteur agricole constitue un domaine d'intérêt particulièrement sensible, tant du point de vue social qu'économique ou environnemental. Depuis quelques années, une nouvelle approche dénommée « agriculture de précision » tente d'atténuer les problèmes associés à l'agriculture traditionnelle. Elle préconise la prise en compte de la capacité productive de chaque type de sol à l'intérieur d'un champ afin d'y adapter les pratiques culturales (Murphy *et al.*, 1995).

Dans ce contexte, la géomatique et l'agriculture de précision permettent d'adapter la gestion des parcelles agricoles en fonction de la variabilité intra-champ en modulant les interventions ou les traitements selon les besoins et selon la variabilité spatiotemporelle du sol et des cultures. Elle vise à développer de bonnes pratiques agricoles permettant de concilier agriculture durable et rentabilité économique.

L'agriculture de précision a besoin d'outils de positionnement GPS permettant de connaître et de repérer efficacement sa position géographique ainsi que d'outils de cartographie assistée par ordinateur afin de générer des cartes, d'analyser spatialement les données et de les interpoler, le cas échéant. Il est aussi nécessaire d'acquérir des données en temps réel et cela est possible grâce à des capteurs embarqués sur les engins agricoles ou sur les drones.

À cet égard, l'agriculture de précision vise à gérer les parcelles de la façon la plus saine et optimale possible en combinant les trois axes suivants : agronomique, environnemental et économique. Ainsi, les technologies associées à l'agriculture de précision permettent de détecter l'état du sol ou de la plante et d'intervenir là où c'est nécessaire en utilisant le bon produit, au bon endroit, à la bonne dose et au bon moment (Bélangier et Bouroubi, 2015).

Il reste toutefois important de bien évaluer l'intérêt d'adoption de ces technologies aujourd'hui et de répondre aux questions liées à l'utilisation des outils géomatique en agriculture de précision, ainsi que les contraintes du développement de celle-ci en Algérie.

Ce manuscrit s'organise en trois (03) chapitres : dans le premier chapitre nous abordons, à partir de l'analyse de la littérature scientifique, les concepts liés à l'agriculture de précision. Le deuxième chapitre est consacré à la valorisation de l'information géographique en agriculture de précision et les modèles de culture. Alors que le dernier chapitre se focalise sur les contraintes du développement d'une agriculture de précision en Algérie.

Chapitre I :

L'agriculture de précision, une approche de l'agriculture durable

Chapitre I : L'agriculture de précision, une approche de l'agriculture durable

I.1. Agriculture intelligente

Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), la population mondiale devrait atteindre 9,6 milliards d'habitants d'ici 2050. Il sera donc difficile pour le secteur agricole de répondre aux besoins de la population vivant de l'alimentation.

Aujourd'hui, une autre difficulté que le secteur agricole doit faire face relative aux conditions météorologiques instables et le réchauffement de la planète qui a un impact négatif sur les cultures.

Les scientifiques cherchent des techniques et des moyens répondant aux besoins alimentaires suffisants et allant au-delà des menaces du changement climatique. L'agriculture intelligente est une révolution de l'agriculture classique qui implique la réorientation des systèmes agricoles afin de soutenir efficacement le développement alimentaire (Dafri, 2019)

Le principal objectif de l'agriculture intelligente est d'accroître la productivité et les revenus agricoles, elle implique l'utilisation des nouvelles technologies comme le système d'information géographique (SIG), la télédétection spatiale, et l'analyse de données volumineuses (Big data) associées pour relever ces défis. A travers la surveillance électronique des cultures, ainsi que pour l'environnement, le sol, la fertilisation et conditions d'irrigation (Jayaraman *et al.*, 2016).

Ces données de surveillance peuvent ensuite être analysées pour identifier les cultures qui répondent le mieux aux objectifs de productivité de toute exploitation agricole dans le monde.

I.2. L'agriculture durable

L'agriculture durable est la mise en application dans le domaine agricole de la notion de développement durable définie en 1992 à Rio (Thévenet, 1997).

Le développement durable vise à "répondre aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins". Il s'agit donc d'opérer les

différentes productions agricoles tout en respectant les limites écologique, économique et sociale afin d'assurer la durabilité dans le temps de ces productions.

Les principes de l'agriculture durable se fondent sur le fait que les ressources sont limitées et que celles-ci doivent donc être utilisées raisonnablement pour favoriser le bien-être économique et social.

L'agriculture durable doit viser à améliorer la soutenabilité du système de production, en permettant un développement économique équitable et ce de façon respectueuse de l'environnement.

Selon Thévenet, cette notion recouvre les réalités suivantes à l'échelle d'une exploitation:

- Le système de production doit permettre de sécuriser les revenus des exploitants face aux aléas climatiques et aux variations des marchés.
- La dimension écologique doit s'entendre au sens large en incluant la préservation des ressources naturelles (énergie, sol, la qualité de l'eau ou de l'air, et la biodiversité).
- Quant à la dimension sociale, elle est certainement la plus difficile à appréhender. Elle se réfère à des valeurs telles que la qualité des produits, la solidarité, la citoyenneté ou la qualité de vie (Thévenet, 1997).

I.3. L'émergence de l'agriculture de précision

Selon Jullien et Huet, l'agriculture de précision est apparue en 1983 lorsque deux chercheurs de l'Université du Minnesota ont utilisé une carte d'acidité pour moduler les apports d'amendement calciques (Jullien et Huet 2005).

Au début des années 1990, plusieurs facteurs ont contribué à l'émergence de l'agriculture de précision aux Etats-Unis (Robert, 2000). Les principaux étaient :

- Le besoin d'améliorer la gestion des fermes.
- La diffusion et l'utilisation de capteurs de rendement.
- La disponibilité d'ordinateurs relativement bon marché et fiables.
- Le développement d'outils complémentaires tels les Systèmes d'Information Géographique (S.I.G.) et le (G.P.S.).

A cette époque, les technologies ont permis l'acquisition, la gestion et l'utilisation de vastes bases de données géographiques sur l'état des sols et des cultures. Ces bases de données

ont permis la mise en évidence du fait qu'une parcelle n'a pas les mêmes caractéristiques en tous points et est donc soumise à variabilité intra-parcellaire.

L'ensemble de ces facteurs a amené l'idée de moduler les pratiques culturales en fonction de cette variabilité pour améliorer les revenus et limiter les risques de pollution.

Ce principe, fondement de l'agriculture de précision, est de nos jours mis à l'essai ou effectivement pratiqué pour la majorité des cultures importantes dans le monde. Son adoption reste cependant très variable en fonction des pays et des cultures (Lherbier, 2005).

I.4. Le concept de l'agriculture de précision

L'agriculture de précision est un principe de gestion des parcelles agricoles qui vise l'optimisation des rendements et des investissements, en cherchant à mieux tenir compte des variabilités des milieux et des conditions entre parcelles différentes ainsi qu'à des échelles intra-parcellaires (Philippe et Jean-Michel, 1977).

Elle s'intéresse à l'intégration et l'utilisation des technologies de l'information et de divers éléments tels que capteurs, systèmes de contrôle, robots et véhicules autonomes pour faciliter la gestion de l'élevage et de la croissance des cultures.

L'agriculture de précision consiste dans l'appréhension des variabilités intraparcélaires. Elle conduit à la recherche d'informations sur ces dernières, principalement sous la forme d'analyses des caractéristiques physico-chimiques des sols, des composantes du rendement et de leur évolution (Zwaenepoel, 2000).

Historiquement, l'homme a réagi à la variabilité spatiale des milieux en construisant un maillage de l'espace sous la forme de parcelles agricoles : une parcelle correspond à une conduite de culture spécifique (Guérif et King, 2007). L'agriculture de précision introduit cette même logique à une résolution de quelques mètres carrés.

La connaissance des hétérogénéités intra-parcellaires permet d'envisager une modulation des techniques culturales (travail du sol, dose de semis, fertilisation, traitements phytosanitaires) à des fins d'économie, d'amélioration du rendement ou encore de réduction des impacts sur l'environnement.

Le concept s'est largement diffusé grâce aux innovations technologiques, notamment à travers les capteurs de rendement installés sur les moissonneuses-batteuses et couplés à des

systèmes de positionnement GPS (Figure 01). Ces outils permettaient dès lors de réaliser une cartographie spatialement précise des hétérogénéités de rendement intra-parcellaires.



Figure 01 : Cartographie de rendement à partir des mesures réalisées par la moissonneuse-batteuse en combinant un capteur de rendement sur l'élevateur et le GPS, l'ordinateur de bord de la moissonneuse-batteuse établissait une carte de rendement (*Source* : lafranceagricole.fr)

D'une manière générale, l'agriculture de précision s'appuie fortement sur la technologie, de ce fait, elle couvre l'ensemble des applications des technologies utilisées pour la géolocalisation et par la géomatique.

Finalement, les anglo-saxons résument l'agriculture de précision à la règle des 5 R : « *the Right input at the Right time, the Right place, the Right amount, the Right manner* » - «La bonne entrée au bon moment, le bon endroit, la bonne quantité, la bonne manière ».

I.5. Agriculture de précision et agriculture durable

Les approches visant à rendre conforme l'agriculture à des objectifs de développement durable, à réconcilier agriculture et environnement, se sont largement développées ces dernières années (Féret et Douguet, 2001).

Ces approches se traduisent par des qualificatifs de l'agriculture : agriculture durable, agriculture raisonnée, agriculture biologique, agriculture de précision,... etc. Ces termes peuvent toutefois revendiquer de contribuer à une « agriculture durable » (Vorley, 2001).

Bien que l'agriculture de précision ait comme objectifs d'augmenter le bénéfice économique et de réduire l'impact environnemental, en adaptant les pratiques culturales au niveau de la parcelle (Blackmore, 1999), elle est controversée au sein de la communauté de l'agriculture durable pour des raisons de niveau d'investissements et d'expertise technique important.

Néanmoins, d'après Basso 2001 , pour atteindre l'ultime objectif d'une agriculture durable, les variabilités spatiale et temporelle doivent être prises en compte parce que les facteurs qui influent sur le rendement de la culture ont une différence de comportement spatio-temporel.

Cette variabilité spatio-temporelle est analysée dans une démarche d'agriculture de précision. En conséquence, la gestion modulée en agriculture de précision, qui permet à l'agriculteur d'adapter, à l'échelle intra-parcellaire, les pratiques culturales, peut être considérée comme un pas en avant dans une démarche d'agriculture durable.

I.6. Planification de l'agriculture de précision

La démarche en agriculture de précision peut être divisée en trois étapes fondamentales : **observer – analyser – agir**(Boisgontier, 1997) :

I.6.1. Observer

L'observation consiste à la mise en évidence et la caractérisation de la variabilité spatiale intra parcellaire ou inter parcellaire. Elle consiste à collecter de l'information sur le milieu et la plante pour mieux connaître les hétérogénéités.

Les systèmes de localisation qui permettent le positionnement des observations, la télédétection satellitaire ou embarquée, les différents capteurs (sol, rendement, mauvaises herbes, etc.) et toutes les nouvelles technologies sont les outils utilisés pour réaliser cette première étape.

I.6.2. Analyser

L'objectif de l'analyse est :

- la compréhension de cette variabilité ;
- l'étude de l'influence des différents facteurs sur le rendement ;
- l'étude des impacts de cette source de variabilité vis-à-vis de l'opération culturale à réaliser (décision opérationnelle)(Boisgontier, 1997).

I.6.3. Agir

Cette phase est l'étape objective finale de l'agriculture de précision. Il s'agit de la prise de décision et de sa mise en œuvre sur la parcelle. Pour la mise en œuvre de la conduite modulée des parcelles, deux pratiques sont possibles (Boisgontier, 1997):

- la modulation en temps réel, c'est-à-dire, à l'aide de capteurs permettant d'agir sur le matériel utilisé pendant le travail ;
- la modulation basée sur l'utilisation de cartes de préconisation.
- L'utilisation de l'une ou l'autre des méthodes va dépendre de l'opération culturale à mettre en œuvre, c'est-à-dire du type de paramètre pris en compte pour décider du réglage du matériel.

Ces deux pratiques peuvent d'ailleurs être combinées pour la même opération culturale selon les différentes étapes de sa réalisation. Par exemple, pour la fertilisation azotée d'un blé, les deux premiers apports d'azote peuvent être réalisés à partir de cartographie prenant en compte différents paramètres du milieu (et en particulier des données pérennes comme la profondeur de sol, la texture, ...) et le dernier à l'aide d'un capteur mesurant le besoin réel de la plante au moment de l'apport. (Tourinho Soto, 2005)

I.7. Les enjeux de l'agriculture de précision

De nombreux auteurs s'accordent sur les deux enjeux majeurs de l'agriculture de précision, à savoir un gain économique et la préservation de l'environnement. Thévenet (1999) considère que l'agriculture de précision doit être pratiquée lorsqu'elle est agronomiquement nécessaire, techniquement possible et économiquement intéressante.

I.7.1. Un gain économique

Le recours à une gestion améliorée de l'itinéraire technique, en particulier pour les semis, le désherbage et les intrants, doit permettre à l'exploitant agricole d'accroître la qualité des produits et le rendement de la parcelle et donc constituer un gain économique. En particulier, l'ajustement des intrants aux potentialités locales de production doit permettre de diminuer les coûts de production.

I.7.2. La préservation de l'environnement

La gestion raisonnée des intrants, en fonction des besoins réels pour les cultures, permet de limiter l'impact des pratiques culturales sur l'environnement, en particulier pour l'irrigation et la fertilisation. En effet, la réduction des intrants entraîne de facto une réduction des résidus non consommés par la culture dans le sol, et donc une réduction de l'assimilation de ces résidus par l'environnement (Lherbier, 2005)

Par conséquent, l'agriculture de précision répondre aux exigences actuelles en termes de gestion économique (figure 02), de protection de l'environnement et de traçabilité, l'agriculture de précision respecte scrupuleusement certains principes de l'agriculture durable. On peut donc la considérer, comme une des approches de l'agriculture durable.

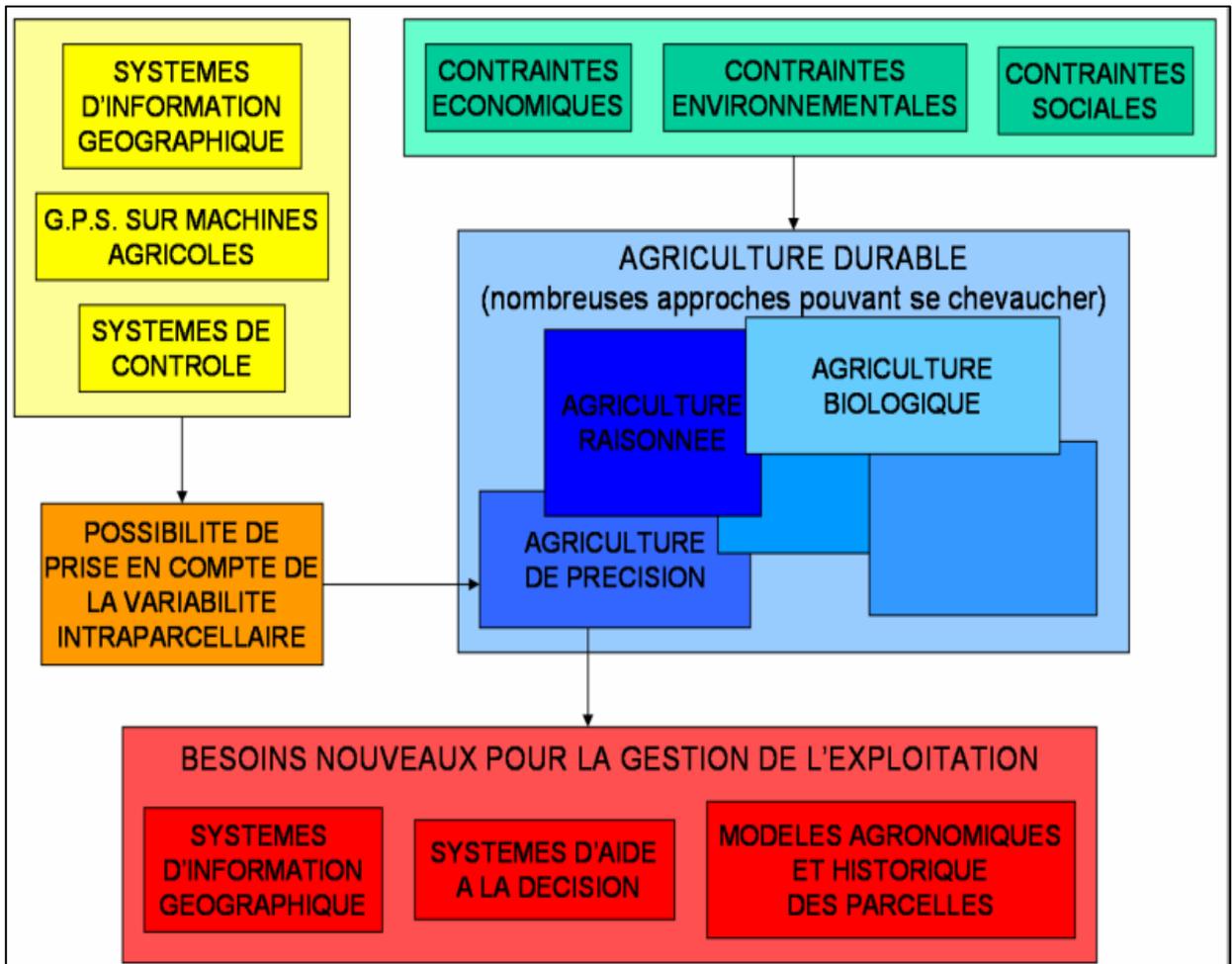


Figure 02 : Contexte de l'agriculture de précision. Source : (Lherbier, 2005)

Chapitre II :

**Valorisation des outils
géomatiques en
agriculture de précision**

Chapitre II : Valorisation des outils géomatiques en agriculture de précision

Les outils géomatiques et les données géo-référencées sont à la base de la pratique de l'agriculture de précision. Leur collecte en constitue la première étape. Sans elles, il est impossible de mettre en évidence la variabilité intra-parcellaire, et donc, au final, de pratiquer la modulation.

Les données utilisées en agriculture de précision sont nombreuses mais on peut globalement les classer dans quatre grandes catégories : l'imagerie satellitaire, les analyses de sol, les données de rendement et les mesures de conductivité électrique (Lherbier, 2005). Au sein de chaque catégorie, on retrouvera ainsi des informations ayant le même libellé ou appartenant à un même type de mesure. Pourtant, ces données pourront, et devront, être différenciées en fonction de plusieurs critères.

II.1. Les images satellitaires et aériennes issues de la télédétection

la télédétection c'est l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci.

L'objet de la télédétection est de fournir des informations sur les paysages sous forme des images, en utilisant le rayonnement électromagnétique comme véhicule de ces informations (Robin, 1995).

II.1.1. Observation par télédétection d'une surface végétale

La télédétection repose sur le principe de mesure de la réflectance de la lumière émise par le couvert végétale, à travers les différentes gammes de longueurs d'onde.

Chaque objet de la surface terrestre ayant son propre comportement radiométrique, il est possible d'identifier sa nature grâce à sa signature spectrale (valeurs radiométriques enregistrées dans chaque longueur d'onde)(Robin, 1995).

Donc, les capteurs permettent de distinguer divers types de surfaces naturelles caractérisées par des courbes de réflectance spectrale. Chaque surface possède une signature spectrale (quantité d'énergie émise ou réfléchi en fonction de la longueur d'onde) qui lui est propre et qui

permettra son identification sur les images satellitaires. La figure ci-dessous présente la signature spectrale des principales surfaces naturelles (Figure 03).

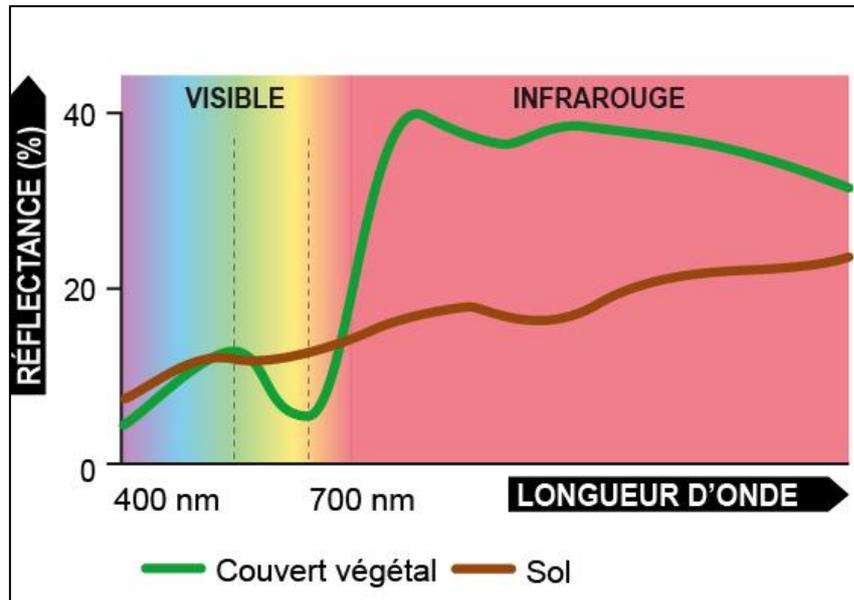


Figure 03 : Signatures spectrales des principales surfaces naturelles Source : (BeApi, 2016)

En ce qui concerne l'agriculture de précision, le signal émis par un couvert végétal est corrélé aux variables biophysiques qui le caractérisent (Jullien et Huet, 2005).

La Figure 04 montre une image satellitaire Sentinel-2 obtenue dans le rayonnement proche infra-rouge le 31 Juillet 2019 (résolution de 10 mètres) sur la parcelle expérimentale dans la région d'El khroub.

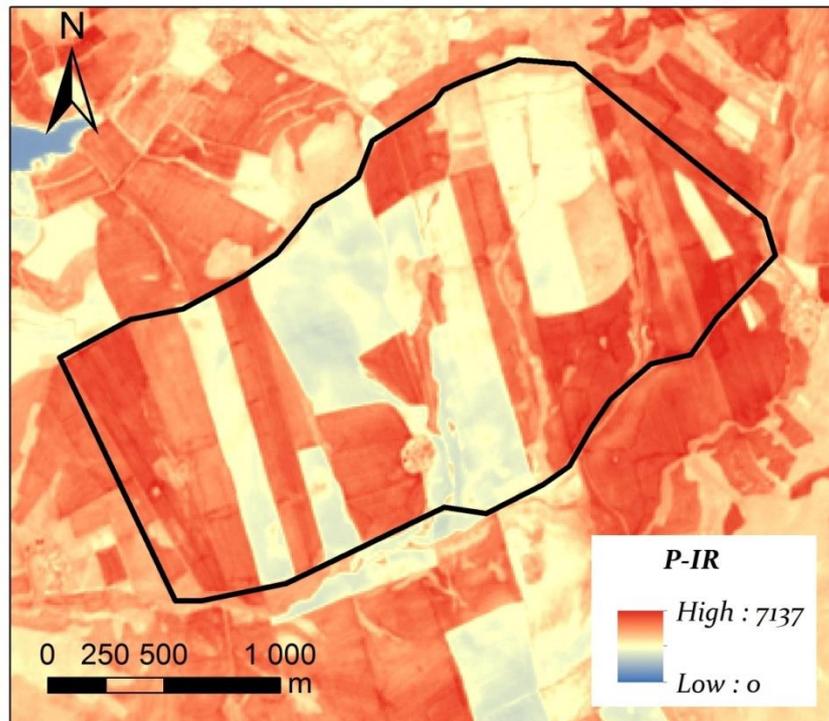


Figure 04 : Exemple d'image satellitaire sur une parcelle expérimentale dans la région d'El khroub.

Les images satellites représentent une réalité « numérisée » sur différentes longueurs d'onde, elles présentent plusieurs avantages :

- Cartographie et suivi de parcelles agronomiques, et leur hétérogénéité (Figure 05).
- Appréciation de la variabilité de la surface du sol et du couvert végétal.
- Détection d'anomalies des systèmes d'irrigation, semis, traitements.
- permettent d'effectuer des relevés cadastraux, et de surveillance d'ouvrages d'arts.



Figure 05 : L'intérêt des images à très haute résolution (GoogleEarth) pour gérer la variabilité inter ou Intra-parcellaire.(région de BniHmiden le 29-01-2020).

II.1.2.Mise en œuvre de la télédétection pour le pilotage des cultures

L'utilisation de la télédétection pour le pilotage des cultures vise à mesurer certaines propriétés optiques du couvert végétal afin d'apprécier des caractéristiques utiles pour élaborer un conseil. Le processus qui conduit à l'élaboration de la carte de conseil nécessite de mesurer la réflectance de certaines longueurs d'onde de la culture, d'acquérir des données au sol, de mettre en œuvre des traitements géomatiques et d'utiliser des règles de décision pertinentes (figure 6).

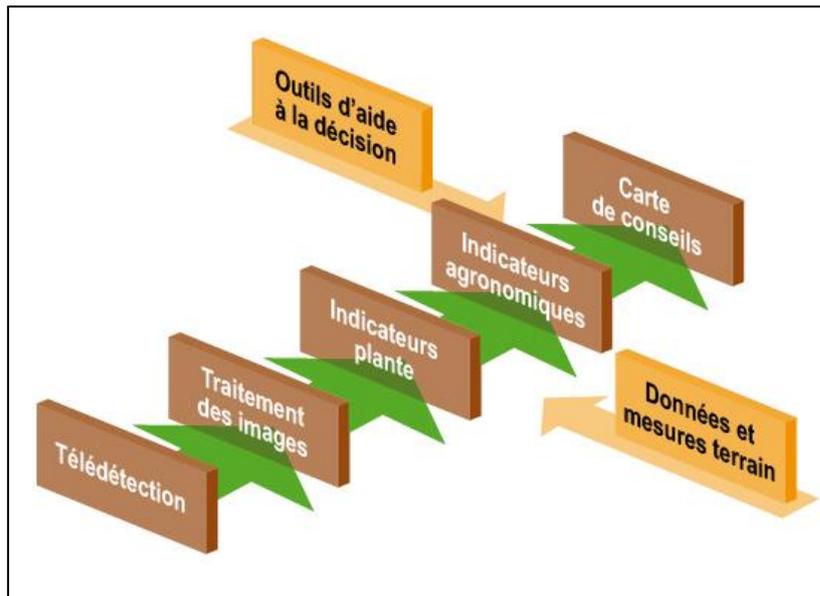


Figure 6 : Application de la télédétection pour le pilotage des cultures. **Source :** (BeApi, 2016)

Selon l'image et les indicateurs que l'on souhaite produire (établir un plan de masse de la parcelle, cartographier les zones à faible croissance, mesurer la fraction de sol non couvert par la culture en place, estimer la biomasse produite, la quantité d'azote absorbée par la culture ou la teneur en chlorophylle du peuplement, déterminer la date de floraison ...), on utilise des capteurs spécifiques capables de mesurer les longueurs d'onde pertinentes et qui doivent être préalablement calibrés et étalonnés (BeApi, 2016).

II.1.3. Les indices de végétation

Les indices de végétation, comme tous les autres indices, reposent sur une approche empirique basée sur des données expérimentales. Ils sont très utilisés d'une part, pour identifier et suivre la dynamique de la végétation, mais aussi pour estimer certains paramètres biophysiques caractéristiques des couverts végétaux (la croissance des plantes, la biomasse, la surface foliaire...etc).

L'indice de végétation différence normalisé (NDVI), C'est l'indice le plus bien connu et le plus utilisé pour détecter les phases de développement de la plante verte à partir des données multi-spectrales de télédétection, déterminé à partir des réflectances planétaires dans les canaux rouges, et proches infrarouge :

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{R}}{\text{NIR} + \text{R}}$$

Où : **NIR** étant la réflectance dans le proche infrarouge et **R** la réflectance dans le rouge.

Ses valeurs varient entre $[-1, +1]$. Les couverts végétaux présentent des valeurs positives d'autant plus fortes que le couvert est photosynthétiquement actif; les valeurs négatives correspondent à des surfaces autres comme la neige ou les terres nues.

Le schéma ci-dessus illustre l'impact du stress sur la valeur NDVI d'un couvert végétal :

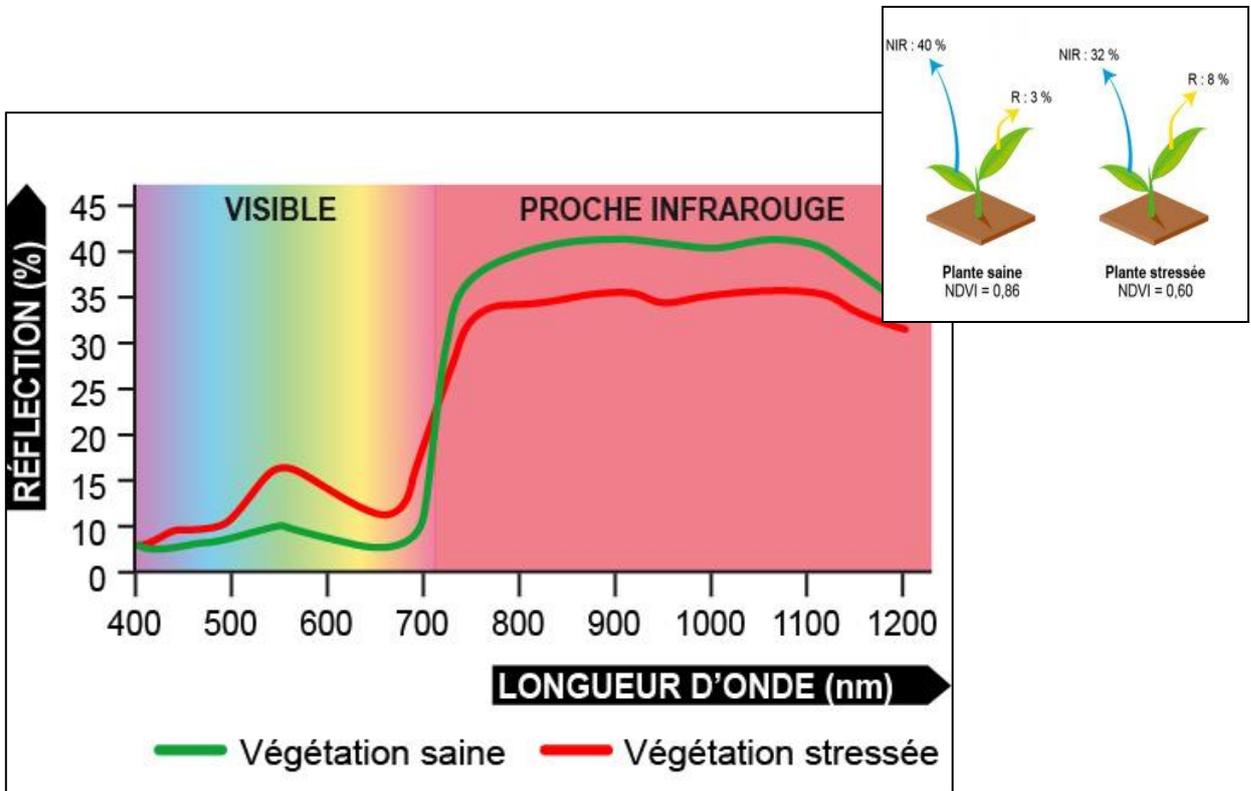


Figure 7 : l'impact du stress sur la valeur NDVI d'un couvert végétal source (BeApi, 2016)

Il faut noter que quel que soit l'indice de végétation, son utilisation nécessite un étalonnage-terrain préalable pour établir la relation entre l'indice et l'indicateur biophysique ou agronomique que l'on cherche à estimer (figure 08) :

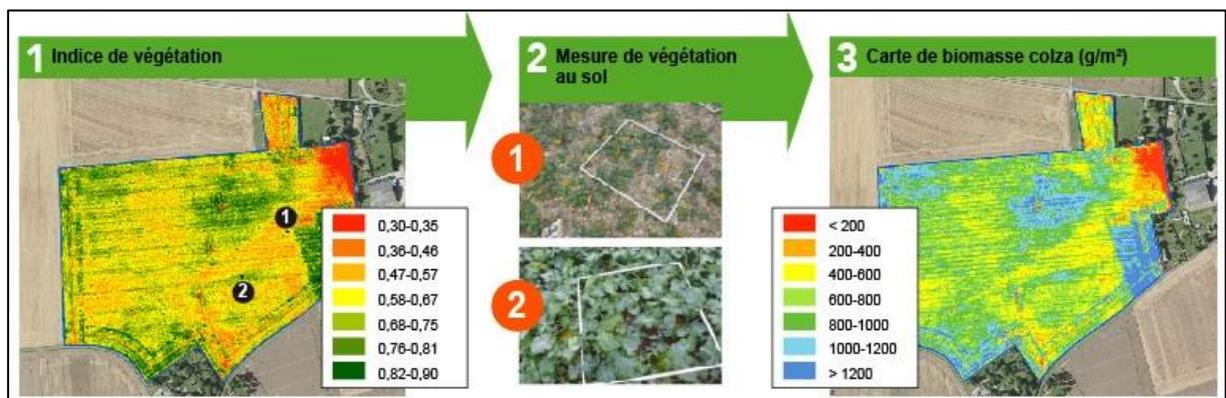


Figure 08 : Couplage de la télédétection et de mesures du sol. Source : (BeApi, 2016)

II.2. Les analyses de sol

Les analyses de sol sont généralement réalisées à la tarière, elles consistent à prélever un échantillon sur les vingt ou trente premiers centimètres du sol puis à l'analyser en laboratoire pour en définir plusieurs caractéristiques granulométriques et physico-chimiques. Les points d'analyse sont géolocalisés par G.P.S.

Les informations fournies par les analyses de sol sont capitales en agriculture. En effet, ces informations mesurent les paramètres granulométriques (teneur en argile, en sable...) et physico-chimiques (teneur en potassium, azote, valeur du pH...) du sol. Et ces paramètres contribuent en partie à conditionner la croissance de la plante (avec le climat, les maladies ...), et par conséquent le potentiel de rendement de la culture.

Les pratiques culturales sont donc définies en fonction des valeurs de ces paramètres. Ceux-ci sont fréquemment utilisés par les modèles agronomiques pour définir les doses à apporter.

Le prix moyen d'une analyse de sol est de 23€ (Lherbier, 2005) (environ 3500 da). En raisonnant à l'échelle de la parcelle, le coût des analyses de sol reste abordable. Mais il en va autrement lorsque l'on souhaite disposer d'une information suffisamment fine pour pouvoir gérer la variabilité intra-parcellaire.

En effet, la grande majorité des campagnes d'analyses de sol destinées à l'agriculture de précision se font selon une grille de points régulière.

Aux Etats-Unis, (Franzenet *al.*; 2000) considèrent que la grille doit avoir un pas de 66 mètres. En France, les spécialistes estiment qu'un minimum de cinq à dix analyses de sol par hectare doit être effectué pour obtenir un semis de points d'une densité adaptée à la pratique de l'agriculture de précision (Piroux ,2003).

La (Figure 09) illustre une localisation quasi régulière des analyses de sol sur une parcelle expérimentale du réseau variabilité intra-parcellaire d'Arvalis Institut du Végétal.

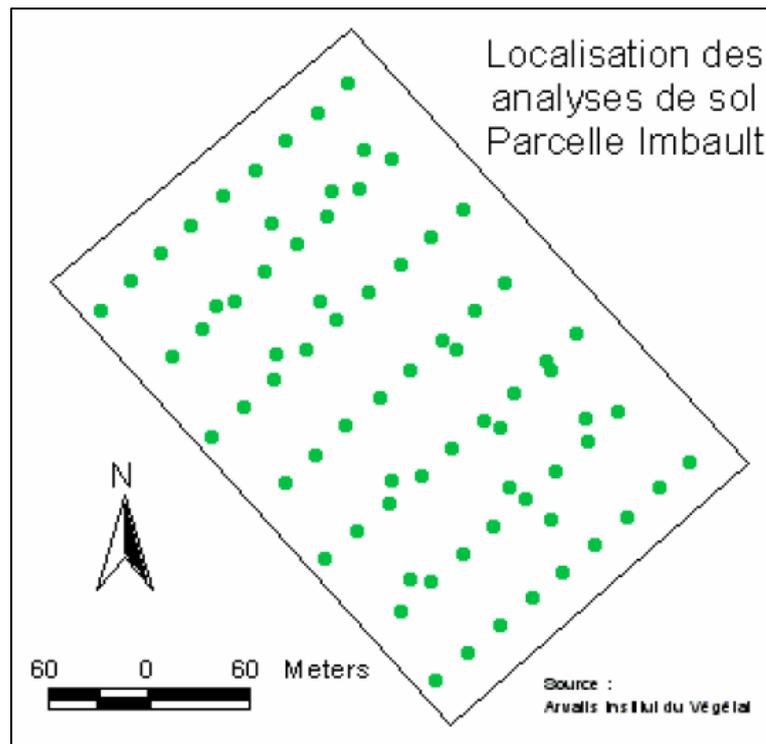


Figure 9 : Exemple de localisation d'analyses de sol sur une parcelle expérimentale "Imbault". **Source** : (Arvalis Institut du Végétal)

II.3. Les cartes de rendement

Lors de la récolte, un capteur placé dans la machine va mesurer la quantité de grain moissonnée. Ce capteur, relié à un G.P.S., permet d'associer la quantité de grain à un point géolocalisé.

Les semis de points obtenus de cette manière sont donc très denses. Les cartes de rendement sont ensuite obtenues par interpolation des valeurs des semis de points géolocalisés. La mesure du rendement s'effectuant en même temps que la moisson de la plante, cette méthode de mesure est directe.

Les mesures relevées par les capteurs de rendement sont souvent entachées d'erreurs, au sens statistique et spatial du terme, liées aux conditions d'utilisation et au mode de fonctionnement même de ces capteurs (Mérour, 2002).

Les cartes de rendement sont instables d'une année sur l'autre. C'est-à-dire que les zones de bons et de mauvais rendements ne sont pas toujours les mêmes et que leurs limites sont rarement nettes. Parmi les facteurs expliquant cette instabilité, on trouve bien évidemment les

conditions météorologiques au cours de la saison, mais aussi les adventices et les maladies, ainsi que d'éventuelles erreurs humaines.

Il existe donc à l'heure actuelle plusieurs attitudes de la part des spécialistes de l'agriculture de précision vis à vis de l'utilisation des cartes de rendement pour la définition d'entités homogènes.

La carte de rendement doit être prise en compte dans la mesure où elle synthétise la variabilité intra-parcellaire globale au moment de la récolte. De plus, les cartes de rendement sont souvent les seules cartes dont dispose l'exploitant agricole qui commence à pratiquer l'agriculture de précision. Elles sont par conséquent les seules informations sur lesquelles il peut appuyer sa réflexion (Lherbier, 2005).

Les cartes de rendement nécessitent certaines corrections apportées aux données initiales. Cependant, la grande majorité des méthodes de correction des données de rendement visent moins à supprimer les données aberrantes sur la carte.

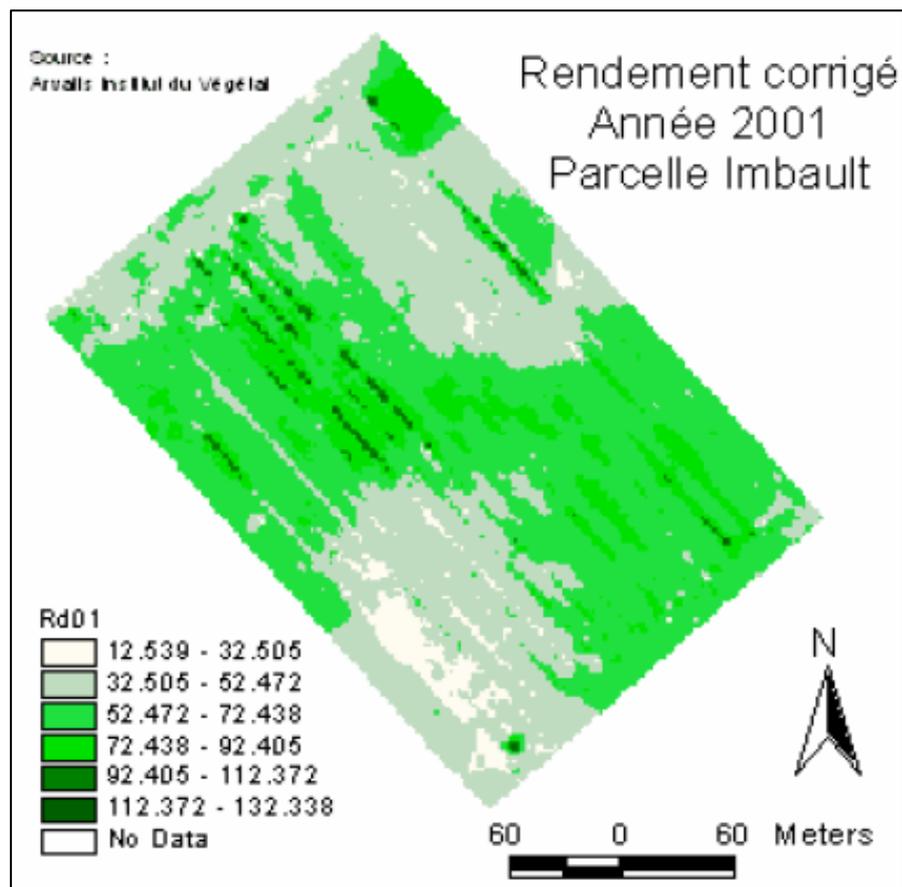


Figure 10 : Exemple de carte de rendement corrigée sur une parcelle expérimentale "Imbault"

Source : (Arvalis Institut du Végétal, 2011)

II.4. La conductivité et la résistivité électrique du sol

La conductivité électrique d'un sol représente sa capacité à laisser passer un courant électrique. Elle permet d'estimer des propriétés du sol telles que la salinité, la teneur en eau, le la teneur en argile, la porosité, la profondeur, le type de substrat géologique ...etc. Elle permet aussi d'estimer les niveaux de présence de nutriments dans le sol (SchepersPayton, 2000).

La résistivité électrique est aussi corrélée avec l'humidité et la fertilité chimique du sol. Les différents facteurs définissant la fertilité chimique du sol ont une influence directe sur le rendement et sont souvent des paramètres d'entrée des modèles agronomiques. La résistivité électrique est donc communément considérée comme une information synthétique fiable agronomiquement (Lherbier, 2005).

Les méthodes de mesure de la conductivité électrique du sol sont donc indirectes à travers l'induction électromagnétique. Chaque mesure est géolocalisée par G.P.S, et l'interpolation des valeurs de points permet d'obtenir une carte.

Le principe de la mesure de la résistivité électrique consiste à injecter du courant dans le sol via deux électrodes et de mesurer le potentiel résultant grâce à deux autres électrodes (Figure 11). C'est la géométrie de la disposition des électrodes qui détermine la profondeur d'investigation ainsi que le volume de terrain prospecté (Lherbier, 2005).

La résistivité électrique est mesurée sur trois voies, ces trois voies correspondant respectivement à des mesures prises à cinquante centimètres, un mètre et deux mètres de profondeur. Chaque mesure est géolocalisée par G.P.S.

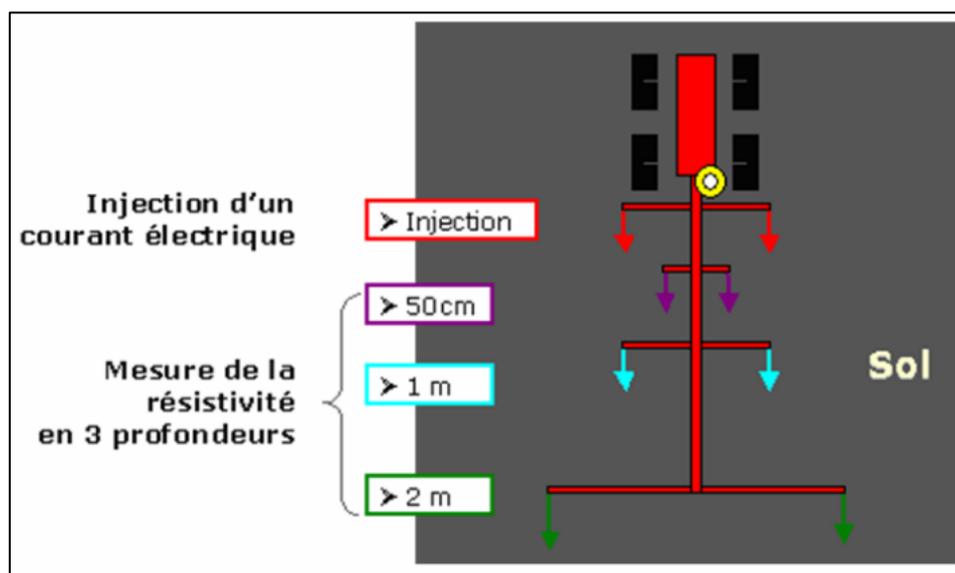


Figure 11 : Méthode de mesure de la résistivité électrique.(Source :www.geocarta.net)

La mesure de la conductivité et de la résistivité électrique présente de nombreux avantages (Lherbier, 2005):

- Le paramètre mesuré est corrélé avec de nombreuses caractéristiques granulométriques et physico-chimiques pertinentes agronomiquement.
- Les mesures effectuées sont géolocalisées très précisément sur la parcelle.
- Le semis de points est très dense est assure une bonne restitution de la structure spatiale de la parcelle.
- Le coût est de l'ordre d'une centaine d'euros par hectare.
- Le paramètre mesuré varie peu dans le temps et, par conséquent, l'information obtenue reste valable très longtemps.
- Le paramètre est mesuré dans le sol même, contrairement aux cartes de rendement ou à de nombreuses images satellitaires. Cela explique les bonnes corrélations avec les informations fournies par des analyses de sol.

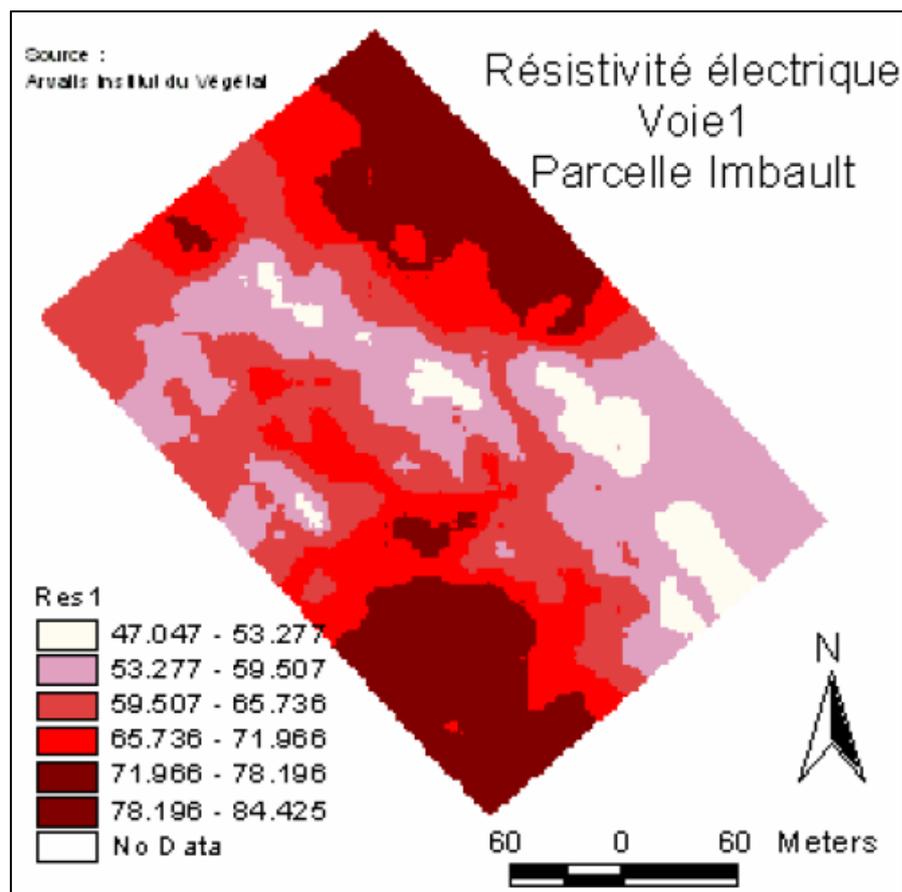


Figure 12 : Exemple de carte de résistivité électrique sur une parcelle expérimentale

Source : (Arvalis Institut du Végétal, 2011)

II.5. La base de données des surfaces cultivées

La base de données a pour but de capitaliser des données actualisées, pour les définitions des scénarios d'exposition, elle consiste en une spatialisation numérisée de parcelles agricoles (Figure 13).

La base de données contient plusieurs types d'informations tel que : nom de la culture, sa date de semis et la campagne agricole dans laquelle elle était cultivée, les données météorologiques, les calendriers culturaux, la phénologie et les données statistiques et historiques (Lherbier, 2005).

Elles portent, entre autres éléments, sur l'élévation, la pente, l'exposition, l'hydrologie, la géologie, les réseaux de transport, le découpage administratif... etc. Ces informations sont nécessaires puisqu'ils servent à faciliter le relevé sur le terrain, la gestion des historiques des données agricoles et le traitement multicouche de données afin de générer des nouvelles cartes.

Il faut noter que toutes approches développées en agriculture de précision supposent la disponibilité de données à haute résolution permettant de mettre en évidence, de manière pertinente, la variabilité spatiale du système de production (sol, état de la plante, production). La caractérisation est une étape qui permet d'élaborer une information agronomique à partir d'une ou plusieurs données obtenues. La caractérisation passe donc par l'estimation précise de l'information agronomique à partir d'une ou plusieurs données mesurées (Lherbier, 2005).

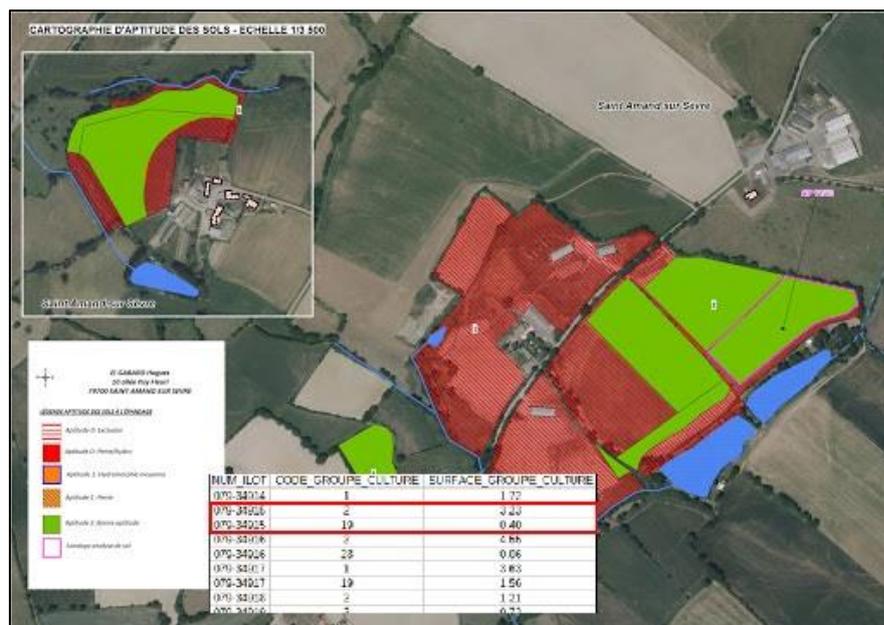


Figure 13:La variabilité spatiale du système de production à travers des informations stockées dans une base des données.

II.6. L'utilité des S.I.G. en agriculture de précision

Plusieurs caractéristiques des SIG justifient leur utilisation en agriculture de précision. Le principal atout des SIG est leur rôle intégrateur de données (Ariaux, 2000). En effet, les SIG permettent de travailler avec de nombreuses données, quelque que soit leur origine (carte numérisée, imagerie satellitaire, données G.P.S. ou station spatial.), leur structure (vectorielle ou en mode raster) et leur type (quantitative ou qualitative). Ils permettent donc de réunir les différentes formes des données à référence spatiale (figure 14) (Lherbier, 2005).

Une fois les données intégrées, les SIG offrent également de nombreuses fonctionnalités nécessaires à la gestion et à la mise à jour des bases de données constituées.

Enfin, il est possible, avec un minimum de manipulation, de mettre en forme les données et de les appréhender aisément sous leur forme cartographique.

Devant la diversité, et parfois la quantité, de données géo-référencées utilisées en agriculture de précision, c'est ce rôle intégrateur de données qui a amené les acteurs de l'agriculture de précision à s'intéresser aux SIG (Ariaux, 2000).

Cette caractéristique fait qu'ils sont mis à contribution dès la première étape d'identification et de caractérisation de la variabilité intra parcellaire.

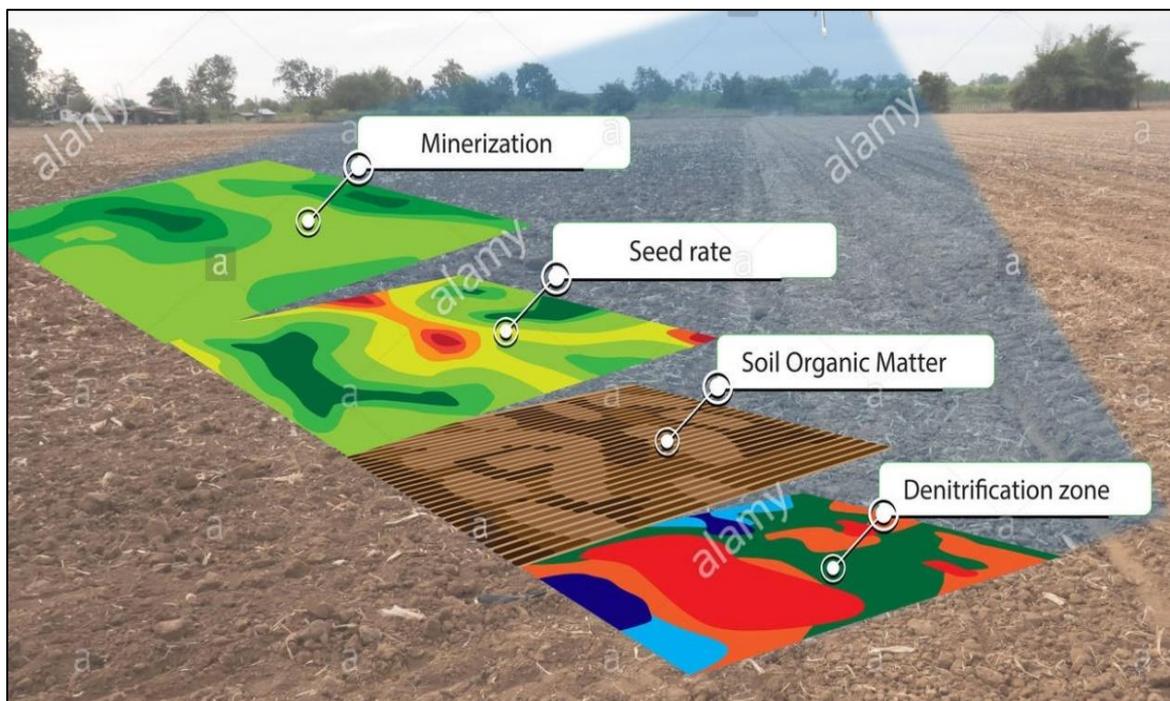


Figure 14 : Le rôle du S.I.G. en agriculture de précision

II.7. Analyse spatiale et agriculture de précision

Lors de l'étape de prise de décision de l'agriculture de précision, les données collectées sur la parcelle et structurées en une base de données au sein d'un S.I.G. sont censées être analysées afin d'en extraire des informations supplémentaires. Cette étape s'appuie donc largement sur l'analyse spatiale pour établir la carte de préconisation.

L'analyse spatiale trouve ses origines dans l'émergence de la géographie quantitative et statistique des années 1950. Elle s'appuyait initialement sur l'application de méthodes statistiques à des données géographiques. Les préceptes de l'analyse spatiale sont donc antérieurs à l'apparition des S.I.G. et les deux domaines ont évolué indépendamment l'un de l'autre pendant un certain temps (Joérin ,1997).

Cependant, l'intégration de certaines méthodes d'analyse spatiale dans les S.I.G. était inévitable. Les S.I.G. offraient l'outil informatique adéquat pour effectuer d'importants calculs tandis que l'analyse spatiale amenait un ensemble de méthodes susceptible de mettre en valeur les bases de données géographiques. Ainsi, l'émergence des SIG a contribué à l'augmentation de la recherche en analyse spatiale (Lherbier, 2005).

Parmi les définitions existantes de l'analyse spatiale, plusieurs caractéristiques ressortent selon (Laaribi, 2000) : "Ces analyses touchent aux attributs descriptifs des objets, à leur localisation et leur forme (attributs géométriques) ainsi qu'à leur topologie. Toutes ces opérations vont tirer parti de la distribution spatiale des objets ou des phénomènes sur le territoire, soit pour des simples analyses géométriques et arithmétiques, soit pour des opérations relativement plus sophistiquées relatives à des calculs d'optimisation ou de simulation."

Concernant les principales méthodes d'analyse spatiale des SIG, Laaribi (2000) propose :

- Explorations topologiques et métriques relatives à la recherche d'objets par la création de zones tampon (buffer zones en anglais) et aux calculs de distance ou de surface.
- Explorations topologiques et métriques relatives à des analyses d'impact.
- Superposition de "couches" de données par des opérations booléennes (logiques) qui permettent d'identifier et d'afficher des entités géographiques ayant des caractéristiques communes.
- Calculs statistiques sur certaines variables.
- Calculs d'optimisation relatifs à l'analyse de réseaux.

II.8. La gestion modulée des cultures

II.8.1. L'intérêt économique de la modulation intra-parcellaire

La modulation consiste à adapter les doses d'intrants à l'hétérogénéité intra-parcellaire. Elle permet d'éviter une application uniforme sur toute la parcelle. Se faisant, elle réduit fortement les risques de surdosage à certains endroits, de gaspillage et de sous-dosage à d'autres, ce qui permet l'amélioration du rendement (beapi.coop, 2015).

La rentabilité économique de la modulation intra-parcellaire dépend de **l'hétérogénéité intra-parcellaire** : Plus celle-ci est importante, plus les possibilités d'économie d'intrants et de gain de rendement par rapport à une application homogène au sein de la parcelle sont importants (figure 15)

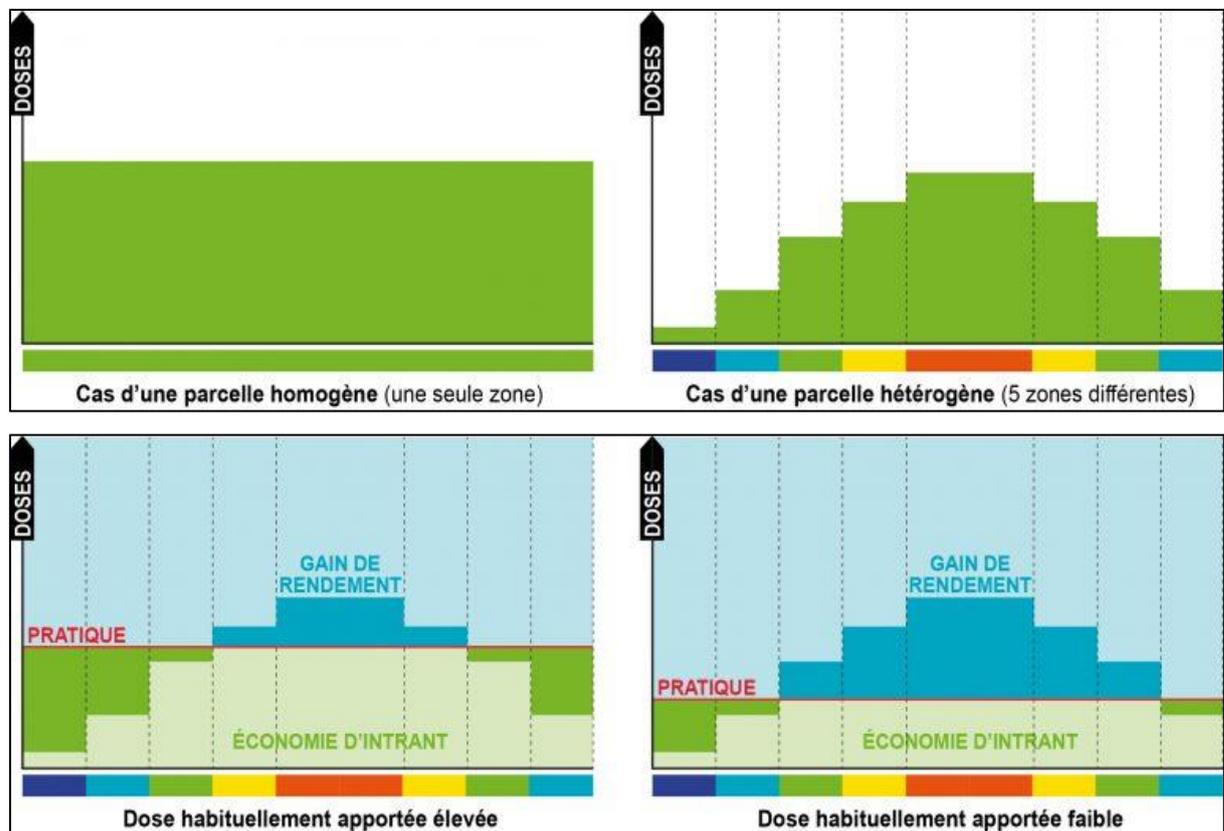


Figure 15 : L'intérêt économique de la modulation intra-parcellaire
(Source : beapi.coop, 2015)

II.8.2. Types de modulation et étapes de la pratique de l'agriculture de précision

L'agriculture de précision vise à moduler les pratiques culturales en fonction de la variabilité intra-parcellaire. Cette modulation peut prendre deux formes dites directe et indirecte.

On notera cependant que, dans la très grande majorité des articles et ouvrages, l'agriculture de précision est implicitement considérée comme s'appuyant sur une modulation indirecte.

II.8.2.1. La modulation directe

La modulation directe ou modulation en temps réel vise à effectuer les mesures sur la parcelle, leurs analyses et le calcul des doses à apporter au cours d'un seul et unique passage (par opération culturale). Dans ce cas, un système adapté à l'opération culturale récolte l'information par le biais d'un capteur, l'analyse et enfin d'agir directement sur la machine agricole pour moduler l'application (Lherbier, 2005).

C'est le cas du N-sensor (Figure 16). Cet appareil mesure les besoins en azote de la culture et module les apports en conséquence. Il permet ainsi d'éviter de laisser des endroits dans la parcelle sous-fertilisés (conduisant à des pertes de rendement) et d'autres sur-fertilisés (synonymes de gaspillage d'azote néfaste pour l'environnement et augmentant le risque de verse).

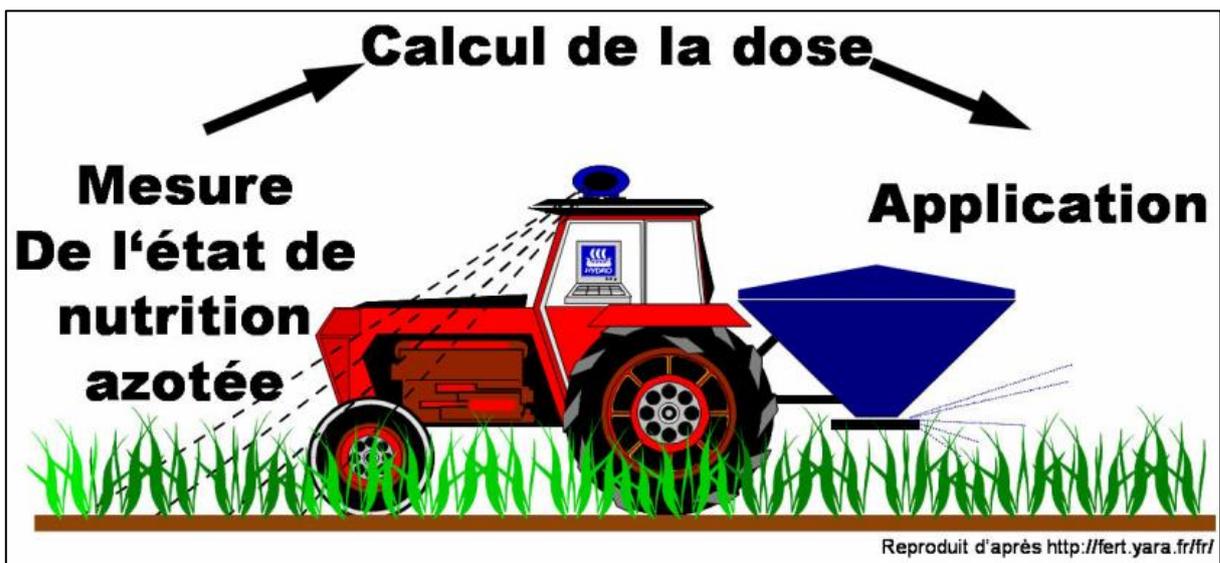


Figure 16 : Fonctionnement du système N-sensor (La modulation directe).

Le N-*Sensor* réalise, en temps réel, trois opérations (Figure 16) :

- Mesure de la réflectance du couvert végétal : elle permet d'évaluer les quantités de chlorophylle et la biomasse du couvert végétal et donc d'estimer l'état de nutrition azotée de la culture.
- Traitement du signal optique et traduction en une dose d'épandage.
- Dialogue et envoi des instructions de dose à l'épandeur d'engrais.

Les variations de l'intensité lumineuse sont intégrées en permanence et permettent de travailler en toutes conditions (temps couvert, temps clair, alternance de nuages...). Depuis le terminal embarqué à bord du tracteur, l'opérateur contrôle et maîtrise avec facilité toutes les étapes de l'utilisation de l'équipement.

Le N-*Sensor*, comme les autres systèmes permettant la modulation directe, permet de gagner du temps (les mesures et l'épandage sont réalisés en une seule opération, sans élaboration préalable de cartes de préconisations).

La modulation directe présente une limite opérationnelle. En effet, l'hétérogénéité spatiale de la culture peut être, au moins en partie, liée à une différence de développement entre les plantes, cette différence de développement étant elle-même liée en partie à l'âge des plantes. La logique de l'agriculture de précision voudrait alors que les plantes dont les stades de développement différent soient traitées à des moments différents.

Toutefois, la planification de passages multiples sur une même parcelle pour une même opération culturale constitue une importante difficulté au vu des calendriers déjà chargés (Jullien et Huet, 2005).

II.8.2.2. La modulation indirecte

McBratney et Taylor (2000) ont identifié les 5 fonctions nécessaires à la gestion modulée indirecte des cultures :

-L'observation : Concernant l'acquisition de données sur état du couvert végétal, sur la production, sur le sol, ...etc, avec une résolution spatiale importante pour construire une démarche de gestion spatialisée. De nombreux capteurs sont disponibles pour mesurer la variabilité intra-parcellaire des paramètres physiques du couvert végétal, du sol ou de l'environnement (résistivité électrique du sol, imagerie... etc.).

Un exemple de donnée obtenue à l'issue d'une observation : la température de feuille mesurée par imagerie thermique. Cette donnée est reliée à l'état hydrique des plantes, toutefois elle ne peut pas être utilisée directement pour prendre une décision.

-La caractérisation : Étape permettant de transformer en information agronomique les données obtenues lors de la phase précédente. Une variable est considérée comme information agronomique lorsqu'elle permet à un professionnel de construire une préconisation ou de prendre une décision sur le système agricole.

Il s'agit, par exemple, du niveau d'infestation sanitaire, de la surface foliaire, du niveau de contrainte hydrique, de la teneur du grain en protéine, etc. La caractérisation peut se révéler plus ou moins complexe et peut nécessiter le recours à des informations expertes, des modèles, des pré-traitements des observations tels que classification ou zonage, ainsi que l'acquisition de données complémentaires.

-La préconisation : Étape destinée à produire un conseil technique explicite en se basant sur les informations agronomiques élaborées lors de la caractérisation. Exemples de préconisation : une carte d'application d'azote exprimée en unités d'azote/ha (figure 17), une carte de préconisation d'irrigation exprimée en mm d'eau, une carte de vendange sélective... etc.

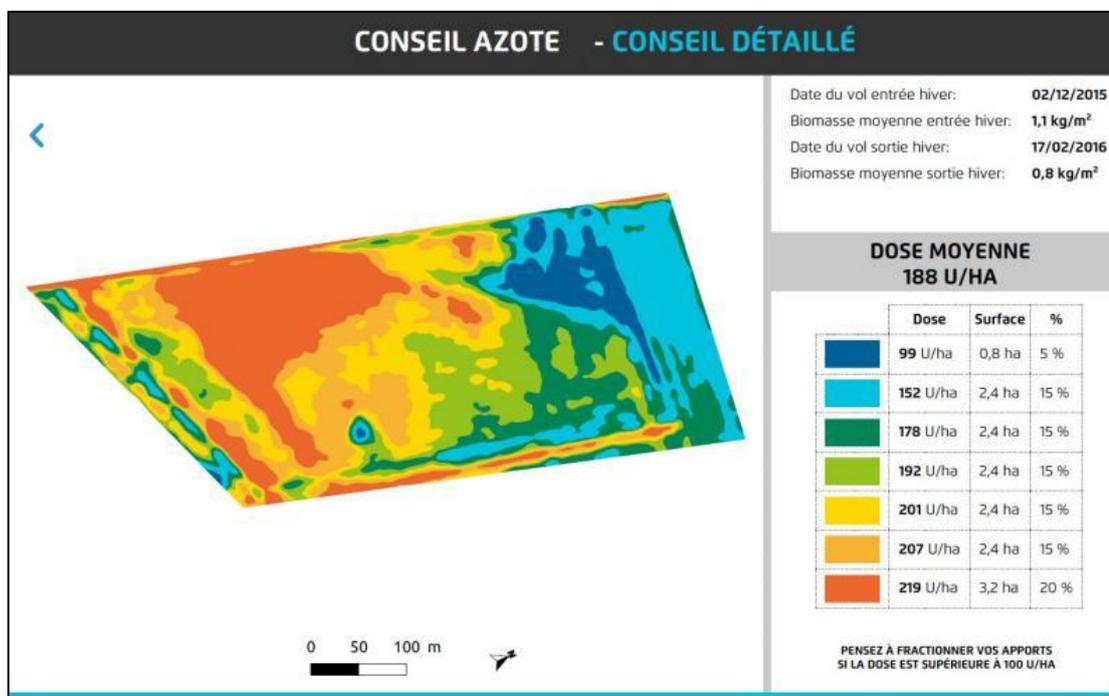


Figure 17: model d'une carte de préconisation de fertilisation azotée estimée indirectement à partir d'indices de végétation mesurant la biomasse. (© Chambre d'agriculture du Loiret)

-**L'application** : Traitement par lequel un conseil agronomique produit est appliqué sur la parcelle par l'opérateur.

-**Le géo-référencement** : Processus central, le géo-référencement a pour objectif de spatialiser les données récoltées, les informations agronomiques ainsi que l'application des préconisations définies (figure 18).

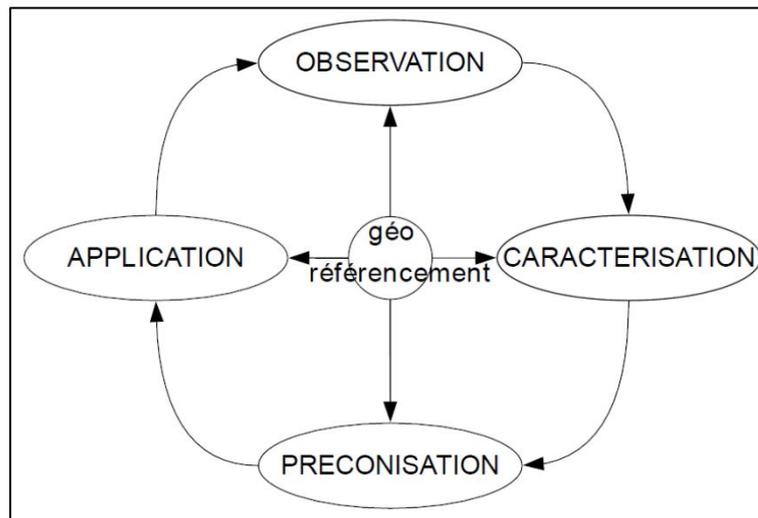


Figure 18: Diagramme fonctionnel d'une démarche de gestion modulée, d'après McBratney et Taylor (2000). Ce schéma met l'accent sur l'importance du géoréférencement, au coeur des quatre étapes fondamentales du processus de gestion de la variabilité.

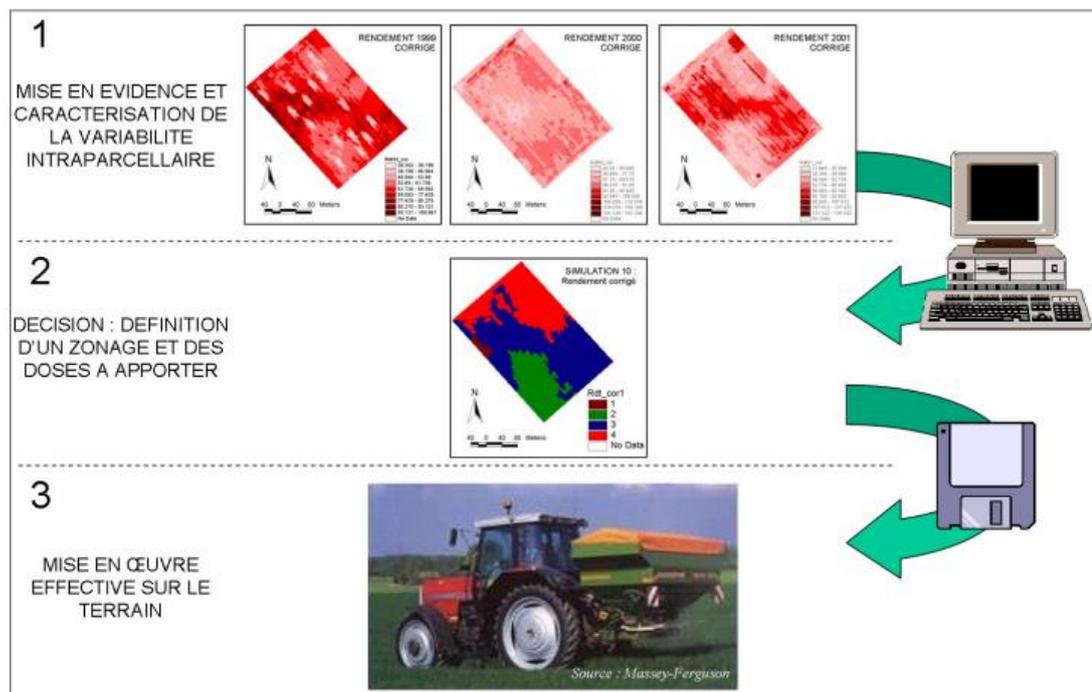


Figure 19 : Les étapes de la modulation indirecte de l'agriculture de précision (Lherbier, 2005)

II.9. Les modèles de culture

II.9.1. Généralités sur les modèles de culture

Durant ces 50 dernières années, l'agriculture a fortement évolué grâce à la contribution de nombreuses disciplines (ingénierie, économie) et au moyen de différents outils d'analyse (modèle, approche analytique) (Jones *et al.*, 2016).

Les modèles permettent de représenter la réalité, d'appliquer les théories et de fournir une approximation des résultats attendus expérimentalement. Ils sont de plus en plus exploités et utilisés en tant qu'outil d'aide à la décision et en tant qu'outils prévisionnels pour les rendements (Varella *et al.*, 2008).

II.9.2. Types de modèles de culture

Deux grands types de modèle existent, les modèles **empiriques**, se basant sur des équations simulant les phénomènes observés et les modèles **mécanistes**, expliquant la croissance à partir de processus physiologiques connus et en lien avec l'environnement.

Néanmoins, de nombreux modèles sont constitués de parties empiriques et mécanistes. Jones *et al.* (2016) distinguent trois niveaux de modèles de culture, des plus simples aux plus complexes :

Les plus simples permettent de suivre la croissance des plantes sans induire de stress. Dans ces modèles, seuls certains paramètres sont entrés (CO₂, température,...) et la croissance de la biomasse est suivie. Un modèle de ce type est proposé par Wallach *et al.*, (2006).

La deuxième classe de modèles permet de prendre en compte certaines limitations de la culture (limitations en eau ou en nutriments,...) et d'y incorporer les pratiques agricoles. (Brisson *et al.*, 2003).

Enfin, dans les modèles de la troisième, des facteurs de réduction sont ajoutés (insectes ravageurs, maladies,...). De nombreux avantages sont attribués aux modèles. Les conditions de l'expérience sont sous contrôle total. Ces modèles facilitent la compréhension des interactions sol-plante-atmosphère et peuvent être utilisés pour estimer certaines variables que l'on ne peut mesurer. De plus, l'expérimentation seule en champ ne permet pas de bien quantifier le degré de variabilité des rendements et les modèles peuvent être un point d'appui pour cette quantification (Assenget *et al.*, 2007).

Cependant, de nombreux paramètres sont nécessaires pour utiliser ces modèles (climat, sols, management). Il est donc essentiel de disposer de bases de données complètes et précises afin de maximiser la précision des résultats obtenus avec les modèles (Wallach *et al.*, 2011).

II.9.3. Calibration et validation d'un modèle de culture

Lors de l'utilisation d'un modèle de culture, la phase de calibration est une étape obligatoire. Cette calibration a pour objectif d'ajuster les résultats obtenus avec le modèle à ceux obtenus expérimentalement et spécifiques à la région d'étude. Cela comprend notamment l'évaluation des paramètres du modèle à partir des données récoltées en champ (ex : l'efficacité de transpiration) (Heidmann *et al.*, 2008).

II.9.4. Spatialisation d'un modèle de culture

Au départ, les modèles de croissance des cultures ont été développés pour comprendre et simuler les processus de croissance à l'échelle du champ. Bien que les modèles soient construits sur le fait que les conditions en champs sont homogènes, ils sont devenus des outils utilisés également à l'échelle de la ferme, de la région ou même du pays.

Cette spatialisation entraîne des erreurs inévitables, dues à des hétérogénéités spatiales (sol, météo, management) dont il est important de tenir compte lors de l'analyse des résultats (Balkovič *et al.*, 2013). Par leur spatialisation, les modèles permettent de mieux comprendre les variabilités spatiales au sein d'une région.

Les modèles permettent également de réaliser un nombre important de tests en un temps réduit. Les performances de cette spatialisation dépendent des formalismes du modèle, de la qualité de la calibration et des données d'entrée. Ces dernières sont souvent l'élément le plus restrictif dans la qualité prédictive des modèles spatialisés de culture (Beaudoin *et al.*, 2016).

II.9.5. Le modèle *AquaCrop*

AquaCrop est un modèle développé par la (FAO). C'est un outil d'aide à la décision qui vise la planification stratégique via l'amélioration de la productivité de l'eau dans les productions agricoles (céréalière, maraichère ou fruitière). Il met en lumière la relation physiologique entre la croissance de la biomasse et le volume d'eau transpirée par les végétaux.

Ce modèle requiert peu de données d'entrée et fournit une large série de résultats. De plus, ce modèle a été paramétré et testé pour de nombreuses cultures telles : les céréales comme

l'orge (Alemie&Kebede, 2010), le blé dur (Benabdelouahab, 2015), le maïs (Oiganji, 2016) ou du maraichage comme le chou (Wellens *et al.*, 2014) et ce, pour une large gamme de conditions climatiques. Ces études révèlent que le modèle simule de façon assez précise l'évolution de la biomasse aérienne, le rendement en grain, les mouvements et le bilan de l'eau dans le sol (Toumia *et al.*, 2015).

Pour faire tourner *AquaCrop*, on distingue deux types de paramètres d'entrée : les paramètres conservatifs et les paramètres non conservatifs.

Les premiers sont des paramètres fixes qui n'évoluent ni avec le temps ni en fonction de la situation géographique comme les paramètres de résistances au stress ou de la productivité de l'eau. Le modèle fournit des valeurs par défaut pour ces paramètres. Sinon, ils doivent être calibrés.

Par ailleurs, les seconds paramètres changent en fonction des pratiques agricoles, comme la densité de semis ou le calendrier cultural. Ces paramètres doivent être fournis au modèle (Steduto *et al.*, 2012).

Trois composants sont impératifs pour les simulations (Figure 10):

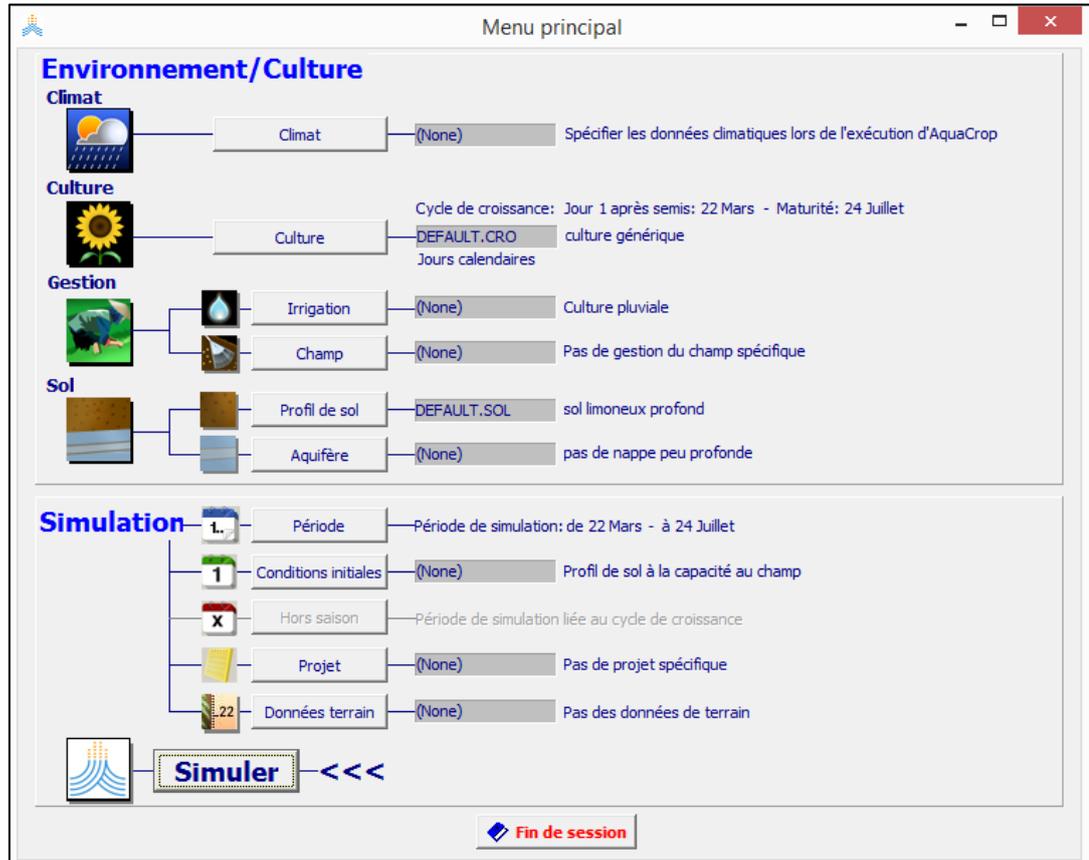


Figure 20 : interface graphique du modèle *AquaCrop*

- **Données climatiques** : pluviométrie journalière, températures journalières maximales et minimales, évapotranspiration de référence journalière et enfin concentration annuelle de CO₂ dans l'atmosphère,
- **Données pédologiques** : texture, profondeur, volume d'eau contenu à saturation, à la capacité au champ et au point de flétrissement,
- **Données phénologiques** : date de plantation, densité des semis, cycle cultural et phénologie de la plante. Dans cet aspect particulier (phénologie), le calendrier cultural a été déterminé en jours calendrier.

Compte tenu de la grande quantité d'informations à traiter, *AquaCrop Plug-in* (ACsaV5.0) peut être intégré. Cette extension facilite l'utilisation pratique des applications d'AquaCrop. Il est conçu pour traiter une grande série de données en dehors de l'interface graphique. Il exécute les fichiers de projets successifs. Ensuite, les résultats des modélisations, identiques à ceux générés avec l'interface, sont directement enregistrés dans des dossiers prédéfinis.

Travailler avec l'extension permet d'économiser beaucoup de temps aussitôt que l'ensemble des fichiers d'entrée a déjà été formaté (Raes *et al.*, 2012). Il est important de signaler qu'*AquaCrop* travaille généralement à l'échelle des parcelles. Cependant, pour des raisons pratiques, la maille peut être utilisée comme entité spatiale pour les simulations (figure 21).

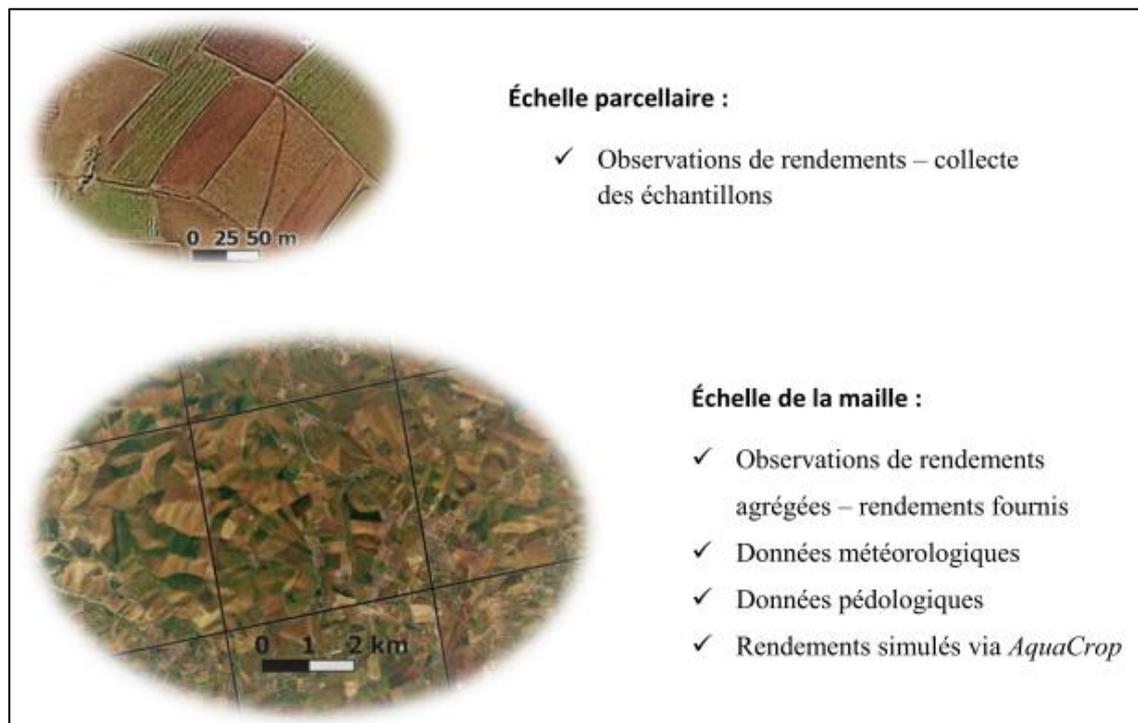


Figure 21 : échelle d'acquisition des données et du processus de modélisation

Chapitre III :
Les principales contraintes
du développement d'une
agriculture de précision en
Algérie

Chapitre III : Les principales contraintes du développement d'une agriculture de précision en Algérie

III.1. Les contraintes socio-économiques

Le principal obstacle au développement de l'agriculture de précision reste l'investissement nécessaire à sa pratique. Celui-ci n'est souvent perçu que comme un coût supplémentaire par les exploitants agricoles.

Parmi les dépenses à engager, on trouve l'indispensable capteur de rendement, le G.P.S. l'abonnement à sa correction, et enfin l'ordinateur avec logiciel de type S.I.G. pour mettre en place la cartographie.

A l'heure actuelle, on peut estimer le prix d'acquisition de ces différents outils à (15000€) (300 millions sentîmes) (Lherbier, 2005). Il reste ensuite à développer la base de données mettant en évidence la variabilité intraparcellaire : analyses de sol, zones d'adventices... Or, les coûts de certaines données restent très élevés. Par conséquent, l'investissement nécessaire est souvent trop important pour un exploitant agricole. Le coût d'acquisition des données reste donc un facteur critique à la mise en évidence de la variabilité intraparcellaire et donc, par extension, à la pratique de l'agriculture de précision (Delpech et Biaggini , 2000).

On notera que le fait que l'acquisition des données induise des coûts élevés n'est pas spécifique à l'agriculture de précision. Dans toutes les études S.I.G. nécessitant l'acquisition de données, cette étape demande des investissements conséquents (Mainguenaud, 2002).

Pawlak a identifié plusieurs des facteurs contribuant à faire diminuer les coûts d'exploitation au niveau du champ (Pawlak ,2003). Cette diminution intervient lorsque :

- Le prix des équipements pour l'agriculture de précision diminue.
- La taille des champs augmente.
- L'utilisation durant l'année des machines équipées pour l'agriculture de précision augmente.
- Les économies d'intrants augmentent.
- Le rendement augmente.
- La valeur économique accordée à l'environnement augmente.

Outre le fait que le prix des équipements devrait logiquement diminuer au cours des années à venir. On peut donc considérer que le verrou économique au développement de l'agriculture de précision devrait se faire moins prégnant dans le futur.

Le principal verrou **sociologique** est **l'attitude de l'exploitant agricole**. Cette attitude est souvent associée à son niveau de formation : les exploitants agricoles ayant une formation limitée s'intéressant rarement à l'agriculture de précision.

III.2. Les contraintes technologiques

Nous avons vu que l'agriculture de précision étaient déjà relativement opérationnelles. Cependant, il existe encore de nombreux facteurs limitant l'utilisation de ces technologies au-delà de leur simple coût.

Parmi ceux-ci, Robert identifie, concernant les machines agricoles :(Robert, 2000)

- L'inexistence de certains équipements destinés à des opérations culturales ou à des cultures précises. C'est le cas, en particulier, des machines de travaux aratoires variables ou de celles destinées aux légumineuses ou arbres fruitiers.
- L'absence de standard pour la transmission de l'information entre les différents éléments du système.
- Le manque de formation à l'utilisation et à la maintenance des nouveaux systèmes chez les exploitants agricoles et les détaillants. L'exemple le plus flagrant concerne le calibrage des capteurs de rendement.
- Le manque de précision pour certaines machines.

Concernant les capteurs :

- L'inexistence de certains équipements destinés à des tâches telles que la mesure de la fertilité des sols ou la détection des mauvaises herbes ou à des cultures autres que les céréales.
- L'imprécision de certains capteurs.
Si des progrès ont été accomplis, il reste encore des sources d'erreurs, notamment au niveau de la conception des capteurs, du signal G.P.S. et des manœuvres de l'opérateur. Pour le positionnement G.P.S., les corrections différentielles ne sont pas disponibles partout et demandent souvent un abonnement annuel.
- La nécessité de calibrer et de paramétrer les capteurs à chaque utilisation

D'importantes lacunes concernent également les logiciels :

- L'incompatibilité des formats de données ce qui empêche l'échange de données entre différents logiciels.
- Les performances des logiciels et les fonctionnalités proposées par les différents logiciels dédiés à l'agriculture de précision sont très variables. De plus, sur un même jeu de données, les résultats donnés par les mêmes fonctions de deux logiciels différents peuvent parfois être très dissemblables.
- La prise en main difficile. Les différents logiciels, et à plus forte raison ceux proposant des fonctionnalités avancées, sont souvent difficiles à prendre en main pour le profane.

Enfin, Robert identifie les facteurs limitant suivants concernant la télédétection :

- Le coût élevé des images satellitaires, en particulier pour les hautes résolutions nécessaires à la caractérisation de la variabilité intraparcellaire.
- L'absence de coopératives compétentes dans l'interprétation et l'utilisation de ces images.
- Les services de photographie aérienne sporadiques et de qualités très variables.

III.3. Les contraintes liées à la gestion agronomique

Les cartes de sol ont souvent été réalisées à des échelles trop petites pour pouvoir être efficacement utilisées en agriculture de précision. Il manque donc, à l'heure actuelle, des données élémentaires essentielles à sa pratique.

De même, en cours de campagne, les techniques visuelles utilisées par les consultants pour le suivi des besoins en éléments nutritifs et le contrôle des adventices et nuisibles manquent de précision.

L'agriculture de précision introduit une nouvelle catégorie d'activités pour lesquelles la plupart des exploitants agricoles n'ont pas de qualification. Ces activités concernent la gestion de l'information géographique à l'aide d'ordinateurs et son utilisation à des fins agronomiques. Les exploitants dépendent donc des services offerts par les distributeurs et les consultants agronomes (Lherbier,2005).

Devant le manque de recommandations agronomiques, il est nécessaire d'expérimenter au niveau des fermes et cette approche où les agriculteurs pourront définir la meilleure pratique pour leur exploitation. Cette démarche demande un effort de vulgarisation considérable.

Le manque de recommandations entraîne également des utilisations inadéquates de l'information. L'exemple le plus fréquent est l'apport massif d'engrais supplémentaire dans les zones peu productives pour en accroître à tout prix le rendement, sans tenir compte, par exemple, de l'influence du climat (Lherbier,2005).

Jullien et Huet insistent sur la nécessité d'interpréter les informations fournies par les différents capteurs mis à disposition de l'exploitant agricole afin de définir les facteurs limitant le rendement (Jullien et Huet ,2005). Mais la plupart des capteurs mesurent plusieurs facteurs du milieu. Par conséquent, le problème de l'identification des facteurs limitant reste le même qu'en agronomie classique non modulée.

Malgré tout ça, l'agriculture de précision peut être considérer comme une révolution agricole, cette dernière incomberait alors à l'agriculture durable, dont l'agriculture de précision constitue une approche. Et pour l'heure, elle s'appuie plus sur les biotechnologies et la génétique.(Lherbier,2005)

Pourtant, cela ne signifie en rien que l'agriculture de précision soit une approche stérile ou peu innovante. Elle a ses atouts et ses particularités : ses besoins et son intérêt pour les outils et les méthodes relevant des S.I.G. A travers certaines problématiques spatiales de l'agriculture de précision, l'écologie se voit donc offrir une opportunité de contribuer, à son échelle, au développement d'une approche de l'agriculture durable.

En Algérie, quelques groupes de recherches œuvrent dans le domaine de l'agriculture de précision ou de la géomatique agricole, malgré ça , l'agriculture de précision n'a certainement pas atteinte sa maturité en Algérie.

Le meilleur moyen d'innovation numérique dans l'agriculture est le réseau entre agriculteurs, industriels et gouvernement. Il s'agit de faire remonter les besoins et leur trouver les solutions les plus adaptées, en évitant le piège de la réglementation.

Finalement, promouvoir l'agriculture de précision à grande échelle pour les grandes cultures nécessite une volonté politique, des ressources (humaines, financières et technologiques) et une organisation fluide et flexible au niveau de l'administration agricole.

Conclusion

Conclusion

L'agriculture est un secteur de production important dans l'économie de notre pays, et sa participation au développement est majeure, car en plus d'assurer la sécurité alimentaire, elle crée des revenus et des emplois de travail et participe à l'équilibre de la balance commerciale.

Quoi qu'il en soit, l'agriculture de précision devra toujours chercher à optimiser la gestion des parcelles, à la fois d'un point de vue économique et environnemental, en tenant compte de la variabilité spatiale à l'intérieur des parcelles ou entre parcelles. En pratique, c'est apporter la bonne dose au bon endroit, le tout au bon moment en fonction de l'échelle de travail.

Il devient maintenant urgent d'outiller correctement les agronomes d'aujourd'hui afin qu'ils puissent utiliser ces nouvelles technologies pour poser des diagnostics et proposer des interventions spécifiques à apporter en fonction de la réalité du producteur ainsi que des coûts et des bénéfices liés à chacune de ces nouvelles technologies.

La constitution de bases de données et de bases de connaissances intraparcellaires sur les paramètres agronomiques est un passage obligé dans l'agriculture de précision, la masse de données générées par ces nouvelles technologies doit être contrôlée et validée. Le niveau de précision de chaque donnée doit également être connu ; donc, toutes les données collectées doivent être stockées et archivées pour tenir compte de la contrainte spatio-temporelle. C'est la constitution d'une base de données sur la parcelle et sur plusieurs années qui doit permettre de comprendre l'hétérogénéité, engendrant ainsi les modulations intraparcellaires ;

Finalement, l'agriculture de précision impose le partage, collectif ou individuel, de nombreuses informations entre différents systèmes d'informations et cela doit se faire sans contrainte pour l'agriculteur. En Algérie, la standardisation des données et la création de base de données s'avèrent donc indispensables à l'instar de ce qui se fait en France ou en USA.

Enfin de nouveaux domaines de recherches et d'application sont envisageables pour ces "technologies de précision", en particulier l'intégration de l'agriculture de précision et des techniques de gestion de l'information dans un système global de management d'une exploitation agricole.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

Alemie et Kebede , (2010). Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water deficient and irrigated barley. Mekelle University, Department of Crop and Horticultural Sciences, Tigray, Ethiopia.

Ariaux , (2000). ARIAUX B., "Les S.I.G. utilisés en agriculture de précision", In Zwaenepoel P., Actes du colloque Agriculture de précision : avancées de la recherche technologique et industrielle, p. 55-65, Educagri Editions, Dijon, 2000.

Assenget et Turner N.C, (2007). Modelling Genotype × Environment × Management Interactions To Improve Yield , Water Use Efficiency and Grain Protein in Wheat. ScaleComplex. Plant Syst. Res. Gene-Plant-Crop Relations 91–102.

Balkovič et , van der Velde M , Schmid E , Skalský R , Khabarov N , Obersteiner M, Stürmer B, et Xiong W, (2013). Pan-European crop modelling with EPIC: Implementation, up-scaling and regional crop yield validation. Agric. Syst. 120, 61–75.

Basso A, (2001). A data envelopment analysis approach to measure the mutual fund performance. Journal of Operational Research 135 (3), 477-492.

BeApi, 2016. <https://beapi.coop/l-essentiel-de-l-agriculture>. [consulté le: 22 juin 2020]

Beaudoin N , Gallois N , Viennot P, Le Bas C, Puech T, Schott C, Buis S, et Mary B, (2016). Evaluation of a spatialized agronomic model in predicting yield and N leaching at the scale of the Seine-Normandie Basin. Environ. Sci. Pollut. Res. 1–30.

Benabdelouahab T, (2015). Using remote sensing (optical and radar) and modeling to support the irrigation management of cereals in a semi-arid region: a case study of the Tadla irrigated perimeter in Morocco. Thèse de doctorat présentée pour la faculté des sciences, Université de Liège. 157p

Blackmore , Susan J. (1999). The meme machine. Oxford [England]: Oxford University Press.p 53.

Boisgontier D, (1997). L'agriculture de précision en Europe, Une maîtrise plus ou moins grande selon les pays, Perspectives agricoles, n° 225, juin 1997, p. 19-24.

Brisson N, Ruget F, Gate P, Lorgeou J, B. N, Tayot X, Plenet D, Jeuffroy M.-H, Bouthier A, Ripoche D, Mary B. et Justes E, (2002). STICS : A generic model for simulating crops and their water and nitrogen balances .II .Model validation for wheat and Maize.Agronomie. 22, 69–82.

Dafri , Zahra, (2019). Réalisati on d'un système basé sur Internet des Objets pour le contrôle des serres intelligentes, Mémoire de Fin d'études Master, Option : Systèmes Informatiques, Université de 8 Mai 1945 – Guelma – p :12

Delpech , Biaggini , (2000). DELPECH C., BIAGGINI F., "Progresser dans la gestion agronomiques des parcelles", In Agrodistribution, p. 16-19, juin 2000.

Franzen , Halvorson , Hotman , (2000). FRANZEN D.W., HALVORSON A.D., HOFMAN V.L., "Management zones for soil N and P levels in the northern great plains", In Proceedings of the Fifth International Conference on Precision Agriculture, ASA-CSSA-SSSA, Madison, Etats-Unis,2000.

Guérif M , King D, (2007). Agriculture de précision. Editions Quae, Versailles.

Heidmann T, Tofteng C, Abrahamsen P, Plauborg F, Hansen S, Battilani A, Mazurczyk W, Vacek et Coutinho J, (2008) . Calibration procedure for a potato crop growth model using information from across Europe.Ecol. Modell. 211, 209–223.

Ignacio TOURIÑO SOTO , (2005). Mise en relation de la cartographie du rendement avec la distribution spatiale de l'état de surface du sol observée par télédétection. Application dans un contexte d'agriculture de précision.Thèse doctorat, L'institut national polytechnique de Toulouse/p 15-16

Jayaraman , Prem, et al, (2016). "Internet of things platform for smart farming: Experiences and lessons learnt." Sensors 16.11 (2016): 1884.

Jérémy Lherbier, (2005). Valorisation de l'information géographique en agriculture de précision. Géographie.Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 2005. Français. tel-00010902

Joérin F, (1997). Décider sur le territoire , proposition d'une approche par l'utilisation de S.I.G, Et de méthodes d'analyse multicritère, thèse de doctorat, École Polytechnique Fédéral de Lausanne, 1997

Jones J.W, Antle J.M, Basso B, Boote K.J, Conant R.T, Foster I, Charles H, Godfray J, Herrero M, Howitt R.E, Janssen S, Keating B.A, Munoz-Carpena R, Porter C.H, Rosenzweig C, et Wheeler T.R., (2016). Toward a new generation of agricultural system data, models, and knowledge products: State of agricultural systems science. Agsy.

Jullien , Huet ,(2005). JULLIEN A., HUET P., "Agriculture de precision" In Laurent C., Thinon P., *Agricultures et territoires*, Collection Information géographique et aménagements du territoire, Hermes, Paris, 2005.

Laaribi, (2000). LAARIBI A., *S.I.G. et analyse multicritères*, Hermes Sciences, Paris, 2000.

Mainguenaud , (2002). MAINGUENAUD M. (sous la direction de), *Langages pour les S.I.G. :conception, developpement et I.H.M.*, Hermes Sciences, Paris, 2002.

McBratney A et Taylor J,(2000). PV or not PV?In *Proceedings of the 5th International Symposium on Cool Climate Viticulture and Oenology*, Melbourne, Australia.

Merour , (2002). MEROUR X., *La cartographie de rendement : traitement et valorisation de l'information*, Memoire d'etudes, Ecole Superieure d'Agriculture d'Angers, 2002.

Oiganji E , Igbadun H.E , Mudiare O.J et Oyebode M.A, (2016). Calibrating and validating AquaCrop model for maizecrop in Northern zone of Nigeria. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, vol. 18, n°3. 14p.

Pawlak ,(2003). PAWLAK J., "Precision agriculture - economic aspects", In Stafford J.V., Werner A. *Precision Agriculture*, p. 527-532, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Pays- Bas, 2003.

Philippe Zwaenepoel et Jean-Michel Le Bars (1977), *L'agriculture de précision ; Ingénieries EAT* n o 12, décembre 1997, p. 67 à 79

Raeset al., 2012. *AquaCrop – The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: Reference Manual*. p. 265

Robert ,(2000) .ROBERT C.R., "L'agriculture de precision : les verrous lies a la technologie et a la gestion agronomique", In Zwaenepoel P., *Actes du colloque*

Agriculture de précision : avancées de la recherche technologique et industrielle, p. 11-29, Educagri Editions, Dijon,2000.

Robin ,(1995). ROBIN M., La teledetection, Collection Fac Géographié, Editions Nathan, Paris1995.

Schepers Payton , (2000). SCHEPERS A., PAYTON S., "Strategies for establishing management zones for site specific nutrient management", In Proceedings of the Fifth International Conference on Precision Agriculture, ASA-CSSA-SSSA, Madison, Etats-Unis, 2000.

Samuel Féret et Jean-Marc Douguet ,(2001) .Agriculture durable et agriculture raisonnée. Quels principes et quelles pratiques pour la soutenabilité du développement en agriculture ?.Éditionsscientifiquesetmédicales Elsevier SAS.

Steduto P, Hsiao T.C, Fereres E. Raes D, (2012).Crop yield response to water.FAO .Irrigation and Drainage Paper N° 66.Rome, Italy. 500 p.

Thévenet ,(1997). THEVENET G., "Quels enjeux pour l'agriculture de précision ?", In Agriculture de précision, cap sur le XXIème siècle, supplément à Perspectives Agricoles, n° 222, p. 5-7, mars 1997.

Thévenet G, (1999). L'agriculture de précision en France : état de la situation et questions posées. In conférence-débat du S.I.M.A. sur l'enjeu français de l'agriculture de précision, p.15-17.

Toumia J, Er-Rakib S, Ezzaharc J, Khabbaa S, Jarlan L, Chehbounid A, (2015). Performance assessment of AquaCrop model for estimating evapotranspiration, soil water content and grain yield of winter wheat in Tensift Al Haouz (Morocco): Application to irrigation management. Agricultural Water Management, vol 163. p. 219 – 235.

Varella H, Guérif M. et Buis S, (2008). Global sensitivity analysis (gsa) measures the quality of parameter estimation. case of soil parameter estimation with a crop model. Int. Geosci. Remote Sens. Symp. 3(1), 310–319.

VORLEY B , (2001). Sustaining agriculture: Policy, governance, and the future of family-based farming a synthesis report of the collaborative research project Rolicies that work for

sustainable agriculture and regenerating rural livelihoods. Doc.PDF 14 p. in www.iied.org/agri/projects.html consultejuin 2007.

Wallach D, Makowski D, et Jones J.W, (2006). Working with Dynamic Crop Models. Evaluation, Analysis, Parameterization, and Applications, Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 447.

Zwaenepoel P,(2000). Agriculture de précision : avancées de la recherche technologique et industrielle : EducagriEditions.

Résumé

Actuellement, le secteur agricole est soumis à l'influence des changements climatiques et anthropiques. Les recherches et les analyses faites sur l'agriculture moderne forment une base d'information nécessaire et indispensable pour la gestion durable de l'environnement et la mise en valeur optimale de l'espace agricole.

Cette étude a pour ambition d'améliorer les connaissances thématiques sur l'agriculture de précision, cette nouvelle approche permet au producteur de gérer ses champs comme s'ils étaient composés d'un ensemble de petits champs. Son succès repose sur le développement des technologies telles que les capteurs de rendement, le (GPS), les systèmes d'information géographiques (SIG) et la télédétection.

Nous avons examiné les différents types de données utilisés en agriculture de précision, et abordé plus en détail la valorisation de l'information géographique en agriculture de précision et les modèles de culture. Ainsi que les contraintes du développement d'une agriculture de précision en Algérie.

Mots clés : Agriculture de précision, Valorisation, SIG, Télédétection.

Summary

Currently, the agricultural sector is subject to the influence of climatic and anthropogenic changes. The research and analyzes carried out on modern agriculture form an important and indispensable information for the sustainable management of the environment and the optimal development of agricultural land.

This study aims to improve thematic knowledge on precision agriculture; this new approach allows producers to manage their fields as if they were made up of a set of small fields. Its success is based on the development of technologies such as yield sensors, (GPS), geographic information systems (GIS) and remote sensing.

We have examined the different types of data used in precision agriculture, and discussed in more detail the valuation of geographic information in precision agriculture and crop models. As well as the Obstacles of the development of precision agriculture in Algeria.

Keywords: Precision agriculture, Valuation, GIS, Remote sensing.

ملخص

يخضع القطاع الزراعي حاليًا لتأثير التغيرات المناخية والبشرية. تشكل الأبحاث والتحليلات التي أجريت على الزراعة الحديثة قاعدة معلومات ضرورية ولا غنى عنها للإدارة المستدامة للبيئة والتنمية المثلى للأراضي الزراعية.

تهدف هذه الدراسة إلى تحسين المعارف الموضوعية حول الزراعة الدقيقة ، حيث يتيح هذا النهج الجديد للمنتجين إدارة اراضيهم كما لو كانت تتكون من مجموعة من الحقول الصغيرة. يعتمد نجاحها على تطوير تقنيات مثل مستشعرات الإنتاج، جهاز تحديد المواقع، أنظمة المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد.

لقد قمنا بفحص الأنواع المختلفة من البيانات المستخدمة في الزراعة الدقيقة ، وناقشنا بمزيد من التفصيل تقييم المعلومات الجغرافية في الزراعة الدقيقة ونماذج المحاصيل. فضلًا عن عراقيل تطوير الزراعة الدقيقة في الجزائر.

الكلمات المفتاحية: الزراعة الدقيقة ، التقييم ، نظم المعلومات الجغرافية ، الاستشعار عن بعد.

Présenté par : DEROUAZ Rayane Yousra
BENDJAMA Oumeima

Date de soutenance : /09/2020

Thème : Apports de la télédétection et des systèmes d'information géographique dans l'agriculture de précision.

Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en Protection des écosystèmes

Résumé :

Actuellement, le secteur agricole est soumis à l'influence des changements climatiques et anthropiques. Les recherches et les analyses faites sur l'agriculture moderne forment une base d'information nécessaire et indispensable pour la gestion durable de l'environnement et la mise en valeur optimale de l'espace agricole.

Cette étude a pour ambition d'améliorer les connaissances thématiques sur l'agriculture de précision, cette nouvelle approche permet au producteur de gérer ses champs comme s'ils étaient composés d'un ensemble de petits champs. Son succès repose sur le développement des technologies telles que les capteurs de rendement, le (GPS), les systèmes d'information géographiques (SIG) et la télédétection.

Nous avons examiné les différents types de données utilisés en agriculture de précision, et abordé plus en détail la valorisation de l'information géographique en agriculture de précision et les modèles de culture. Ainsi que les contraintes du développement d'une agriculture de précision en Algérie.

Abstract:

Currently, the agricultural sector is subject to the influence of climatic and anthropogenic changes. The research and analyzes carried out on modern agriculture form an important and indispensable information for the sustainable management of the environment and the optimal development of agricultural land.

This study aims to improve thematic knowledge on precision agriculture; this new approach allows producers to manage their fields as if they were made up of a set of small fields. Its success is based on the development of technologies such as yield sensors, (GPS), geographic information systems (GIS) and remote sensing.

We have examined the different types of data used in precision agriculture, and discussed in more detail the valuation of geographic information in precision agriculture and crop models. As well as the obstacles of the development of precision agriculture in Algeria.

Mots clés : Agriculture de précision, Valorisation, SIG, Télédétection.

Laboratoire de recherche : Laboratoire de Développement et Valorisation des Ressources Phytogénétiques. Faculté des Sciences de la nature et de la vie. Département de Biologie et Ecologie Végétale. Université des frères Mentouri Constantine.

Jury d'évaluation :

Président : ARFA Azzedine Mohamed Touffik MCB – UFM Constantine 1

Encadreur: GANA Mohamed MAB – UFM Constantine 1

Examineur : BENDERRADJI Mohamed El Habib Prof – UFM Constantine 1

Examineur : ALATOU Djamel Prof – UFM Constantine 1

Année universitaire

2020 – 2021