

Benjamin Nowak

MÉMO VISUEL D'AGRONOMIE

Enjeux et défis de l'agriculture
expliqués en 100 infographies

DUNOD

NOUS NOUS ENGAGEONS EN FAVEUR DE L'ENVIRONNEMENT :



Nos livres sont imprimés sur des papiers certifiés pour réduire notre impact sur l'environnement.



Le format de nos ouvrages est pensé afin d'optimiser l'utilisation du papier.



Depuis plus de 30 ans, nous imprimons 70 % de nos livres en France et 25 % en Europe et nous mettons tout en œuvre pour augmenter cet engagement auprès des imprimeurs français.



Nous limitons l'utilisation du plastique sur nos ouvrages (film sur les couvertures et les livres).

Crédits iconographiques : LIORIKI/Shutterstock : pp. 13, 47, 87 et 99. HN Works/shutterstock : pp. 75 et 87. KRIBOX/Shutterstock : p. 87, Pensiri/Shutterstock : p. 87, majivecka/Shutterstock : p. 87, Vorobiov Oleksii 8/Shutterstock : p. 113, Zhenyakot/Shutterstock : p. 113

Illustration de couverture et de table des matières : Arc Tina/Shutterstock

Conception graphique de la couverture : Florie Bauduin

Direction artistique : Nicolas Wiel

Mise en page : Belle Page

© Dunod, 2024

11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff

www.dunod.com

ISBN 978-2-10-086178-1

« Je parle d'un sentiment plus proche de la notion portugaise de *saudade*, une personne, un lieu ou un sentiment de la vie irrémédiablement perdu ; une ombre intime qui vous accompagne partout et qui, même si vous l'oubliez le plus souvent, peut à tout moment vous déchirer le cœur, une sentimentalité obstinée, une violente colère à l'idée que vous n'êtes pas là où vous aimeriez être, une mélancolie irrationnelle et enfantine, née de la conviction que vous vous êtes vous-même induit en erreur et dupé en épousant un mode de vie auquel vous n'avez jamais réussi à adhérer complètement. »

Jim Harrison, *En marge*

Remerciements

Merci aux éditions Dunod, notamment Aurélie Cauvin et Anthony Volle, pour l'aide et les conseils apportés lors de la rédaction de cet ouvrage. Pour Bérengère et pour Hector, qui est toujours le premier à découvrir mes nouvelles illustrations le matin.

Table des matières

Remerciements	5	Les écarts de rendement	58
Introduction	8	L'analyse des écarts de rendement	60
Partie 1		En résumé	64
12 000 ans d'agriculture	11	Partie 2	
L'évolution des systèmes agricoles	12	Les enjeux des systèmes agricoles actuels	67
Le renouvellement de la fertilité des sols	14	À l'heure de l'Anthropocène	68
Le développement des engrais	16	La diminution de la biodiversité	70
Les engrais azotés de synthèse	18	Le déclin des abeilles	74
La sélection des variétés cultivées	20	L'augmentation de la résistance des bioagresseurs	78
Le développement du machinisme agricole	24	Les transferts des produits phytosanitaires	82
Le machinisme agricole en Europe	26	Des tensions autour de l'utilisation des produits phytosanitaires	84
Le bilan énergétique de l'agriculture	28	Des difficultés pour diminuer l'utilisation des produits phytosanitaires	86
L'assolement	30	Rupture des grands cycles biogéochimiques	90
Les actifs agricoles	34	Vers une pénurie d'engrais phosphatés ?	92
Le développement de la recherche agronomique	36	La remise en cause de l'agronomie	96
La rotation culturale	38	La séparation des productions animales et végétales	98
L'itinéraire technique	40	Des systèmes agricoles de plus en plus mondialisés	102
Le système de culture	42	La stagnation des rendements	106
Les chefs d'exploitation	44	L'artificialisation des sols	108
La taille des exploitations agricoles	46	La dégradation des sols	112
La taille des parcelles cultivées	48	En résumé	116
La concentration des terres agricoles	52		
La diversité des systèmes agricoles	54		

Partie 3

Concevoir les systèmes agricoles du futur	119
L'impact du changement climatique sur les rendements.....	120
L'impact du changement climatique sur le développement des cultures.....	122
La réserve utile en eau du sol.....	124
La répartition des ressources en eau.....	126
Améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau.....	130
Des systèmes remis en question par l'évolution du climat.....	132
La progression des bioagresseurs.....	134
La lutte biologique.....	136
L'importance du microbiote.....	138
Stocker le carbone dans les sols.....	140
La fin de l'humus du sol.....	142
Cartographier le carbone pour optimiser le stockage.....	144
Faire évoluer les systèmes agricoles.....	146
La reconception des systèmes agricoles.....	150
L'agriculture de précision.....	154
Le suivi des cultures par satellite.....	158
Favoriser la couverture végétale du sol.....	162
Le développement de l'agriculture biologique.....	164
Les possibilités d'expansion de l'agriculture biologique.....	168
Vers une diminution de l'élevage ?.....	170
En résumé.....	172

Partie 4

Pour aller plus loin	175
L'analyse exploratoire des données.....	176
Représenter les résultats.....	180
Éveiller la curiosité.....	184
Les bases de données spatialisées.....	186
Les systèmes de projection.....	188
Représenter les données sur une carte.....	190
Les cartes choroplèthes.....	192
L'analyse des réseaux.....	194
Le processus d'analyse des données.....	196
Glossaire	198
Références bibliographiques	200
Index	207

Introduction

Pour mon fils, les cours de mathématiques ont commencé l'année dernière, dès sa première année d'école maternelle, et vont se poursuivre pendant encore de longues années d'école. Si les mathématiques constituent une matière connue de tous les élèves, ce n'est pas le cas de toutes les disciplines. Les enseignements d'agronomie apparaissent bien plus tard dans les cursus scolaires, laissant ainsi parfois les apprenants perplexes.

DÉFINITION DE L'AGRONOMIE

Au sens large, l'agronomie est la discipline scientifique relative à la production agricole mais, de manière similaire à la définition stricte de l'agriculture qui exclut l'élevage, l'agronomie désigne le plus souvent la science qui étudie les productions végétales. C'est cette seconde définition, plus restreinte, qui est la plus communément admise en France.

L'agronomie s'appuie sur des disciplines variées comme l'écologie, la génétique ou encore l'écophysiologie. Mais l'agronomie est une science appliquée, dont la finalité est d'optimiser la conduite des cultures pour en obtenir une production. Pour cette raison, l'agronomie a parfois été qualifiée d'« écologie du champ cultivé ». Des outils et des méthodes spécifiques, comme le diagnostic agronomique présenté dans la première partie de cet ouvrage, ont ainsi été mis au point pour décomposer les interactions entre les pratiques agricoles, les caractéristiques du milieu

et les peuplements végétaux cultivés, afin de comprendre l'élaboration des différentes composantes du rendement (le nombre de plantes, le nombre d'épis, le nombre de grains, etc.) au cours d'une saison culturale. Le caractère appliqué de la discipline implique aussi que l'agronomie doit mobiliser des méthodes et des outils issus des sciences humaines et sociales, comme l'économie, la géographie ou encore la sociologie pour analyser le fonctionnement et les interactions entre les acteurs impliqués dans les filières de production, des agriculteurs aux industries agro-alimentaires. Par exemple, la mise en œuvre de pratiques non optimales pour les cultures peut s'expliquer par des contraintes organisationnelles, comme un manque de main-d'œuvre disponible pour effectuer les travaux agricoles.

PLAN DU LIVRE

À travers différents cas d'étude, cet ouvrage montre différentes applications du raisonnement agronomique. Les études de cas présentées sont illustrées par des visualisations de données issues d'analyse de bases de données agricoles ou inspirées de résultats marquants présentés dans la littérature scientifique. Un exemple de visualisation de données est présenté sur la figure ci-contre, qui résume **les principaux termes associés à l'agronomie**. Ces mots ont été extraits puis analysés à la suite d'une recherche internet portant sur la définition de la discipline.

La définition de l'agronomie

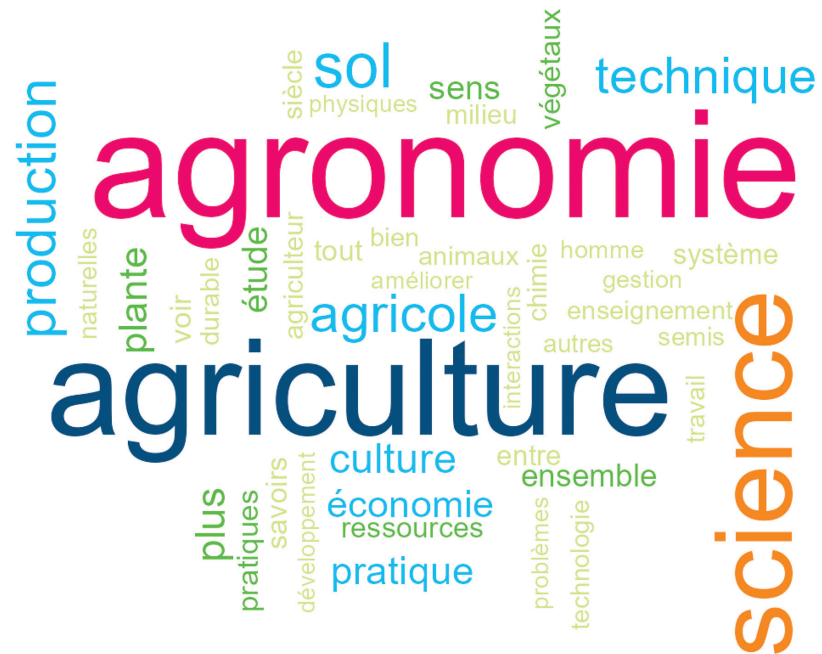
L'**agronomie** est la discipline scientifique relative aux processus concernant l'agriculture, et en particulier aux **productions végétales**.

Centrée sur la production agricole, l'agronomie est une science appliquée.

Elle mélange des concepts issus des disciplines fondamentales relatives au **fonctionnement des plantes** (écophysiologie, génétique, etc.), mais aussi des sciences humaines et sociales pour comprendre les **déterminants des pratiques agricoles**.

Les exemples illustrés dans ce livre montrent la diversité des thématiques abordées par les agronomes.

Le nuage de mots ci-dessous résume les termes qui reviennent le plus fréquemment dans la définition de l'agronomie.



Partie 1

12 000 ans d'agriculture

**DES PREMIERS SYSTÈMES AGRICOLES
AUX SYSTÈMES AGRICOLES ACTUELS**

L'évolution des systèmes agricoles

Au cours des 12 000 dernières années, le développement de l'agriculture a permis d'augmenter fortement la population humaine. Le nombre maximal de personnes qui peuvent être nourries par l'agriculture dépend de l'étendue des surfaces agricoles cultivées, mais aussi des mécanismes de renouvellement de la fertilité des sols. Ces deux éléments ont longtemps été dépendants l'un de l'autre.

LES PREMIERS SYSTÈMES AGRICOLES

Dans les premiers systèmes de cultures sur abattis-brûlis, le renouvellement de la fertilité des sols était assuré par une alternance entre plusieurs dizaines d'années de jachères forestières suivies d'un défrichage par brûlis puis mise en culture pour quelques années de récolte avant retour en jachère. Ces premiers systèmes agricoles ont permis de nourrir une population plus importante par rapport à la chasse et à la cueillette, **mais la densité maximale de population était limitée en raison de la surface de jachère nécessaire** pour assurer le maintien de la fertilité des sols.

Les civilisations hydro-agricoles des vallées de Mésopotamie, de l'Indus et du Nil ont pu atteindre des densités de populations bien plus élevées. Par rapport aux systèmes sur abattis-brûlis, ces systèmes ont permis de passer d'une vingtaine de personnes à 100 hab./km², grâce à un renouvellement de la fertilité des sols basé sur les crues des fleuves.

Des cultures de décrue étaient ensuite semées au fur et à mesure du retrait des eaux. Mais ces systèmes agricoles bénéficiaient de conditions particulières, et n'ont pu être mis en place que sur de faibles surfaces.

LA COMPLÉMENTARITÉ ENTRE CULTURES ET TROUPEAUX

Historiquement, le renouvellement de la fertilité des sols a longtemps été assuré par **la complémentarité entre les cultures et les troupeaux**. Pendant l'Antiquité, les troupeaux pâturent le *saltus* pendant la journée, une zone semi-naturelle composée de landes non cultivées et réservées au pacage des animaux d'élevage. Après le pâturage, les troupeaux vont passer la nuit sur les champs de l'*ager*, terme qui désigne l'ensemble des terres cultivées qui vont ainsi être amendées avant l'implantation des cultures. Mais ce système nécessitait d'importantes périodes de jachères, pour que le parcage des troupeaux ne détruise pas les cultures en place. La révolution agricole de Moyen Âge va permettre d'optimiser les transferts de fertilité du *saltus* vers l'*ager*. Avec le développement de la forge, des chariots lourds vont être utilisés pour transporter les fourrages du *saltus* jusqu'aux troupeaux. Tous les fumiers produits vont ainsi pouvoir être récupérés, puis transportés jusqu'à l'*ager*. Le développement du travail du sol lourd, comme le labour, est une autre évolution marquante de ces systèmes.

L'évolution des surfaces cultivées de -4 000 à 1 800

1800
Surface totale
429 Mha

Légende



Les formes colorées
représentent l'évolution
des surfaces cultivées en
fonction du temps.

Avec l'évolution des pratiques
agricoles, l'extension des surfaces
cultivées a permis l'augmentation
des populations.

-4 000
Surface totale
21 Mha

-4 000

-2 000

0

1800



Civilisations hydro-agricoles
Cultures de décrue des vallées de
Mésopotamie, de l'Indus et du Nil.



Hydro-riziculture
Systèmes hydrauliques
pour la riziculture.



Abattis-brûlis
Longues jachères forestières
suivies de quelques années
de cultures céréalières.



Révolution agricole de l'Antiquité
Jachères et culture attelée légère.
Transferts de fertilité entre saltus et
ager.



Révolution agricole du Moyen Âge
Jachères et culture attelée lourde.
Développement du labour.

Le renouvellement de la fertilité des sols

Les **mécanismes de renouvellement de la fertilité des sols ont été au cœur de la conception des premiers systèmes agricoles**. Les périodes de cultures alternaient avec des jachères, périodes pendant lesquelles les déjections produites par les troupeaux étaient apportées au sol. Avec le développement des chariots lourds qui permettent de transporter les fumiers des troupeaux sans être dépendant du parage nocturne des animaux sur l'ager, les périodes de jachères vont pouvoir être réduites : on passe de l'**assolement biennal de l'Antiquité** à l'**assolement triennal du Moyen Âge** (voir ci-contre).

DE L'ENTRETIEN DE LA FERTILITÉ DES SOLS...

Support de culture des plantes, le sol est l'un des sujets d'étude privilégiés des agronomes, qui ont longtemps pensé que les végétaux se nourrissaient directement des particules solides du sol. Au XVIII^e siècle, le chimiste allemand Franz Karl Achard définit l'humus du sol comme un « précipité sombre issu d'une extraction à pH alcalin ». Quelques décennies plus tard, dans ses *Principes raisonnés d'agriculture*, Albrecht Thaër développe la théorie de l'humus selon laquelle « la matière sèche des plantes est dérivée de l'humus des sols ».

... À LA GESTION DE LA NUTRITION DES CULTURES

Cette théorie va être remise en cause par Justus von Liebig, qui va montrer que les plantes ne se nourrissent pas directement des particules

de sol, mais plutôt des éléments nutritifs issus de la minéralisation de la matière organique. Il va alors définir deux grandes lois qui vont avoir un fort impact dans le développement de l'agriculture.

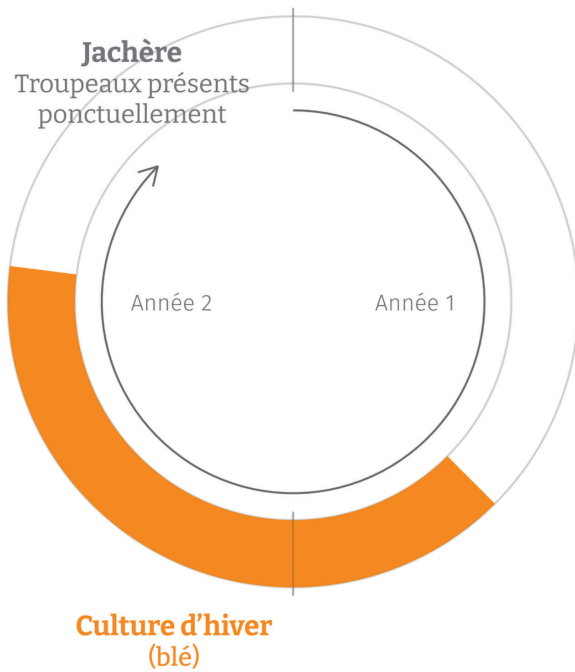
La **loi de restitution** définit la quantité minimale d'éléments nutritifs à apporter au sol pour maintenir les rendements : « Il suffirait donc, pour rendre au sol ce que le froment lui a enlevé, de lui appliquer. »

La **loi du minimum** introduit la notion de facteur limitant, c'est-à-dire que les rendements des cultures sont limités par l'élément qui est présent en quantité la plus faible (par rapport aux besoins des plantes) : « L'insuffisance d'un élément assimilable dans le sol réduit l'efficacité des autres éléments, et, par suite, diminue le rendement des récoltes. »

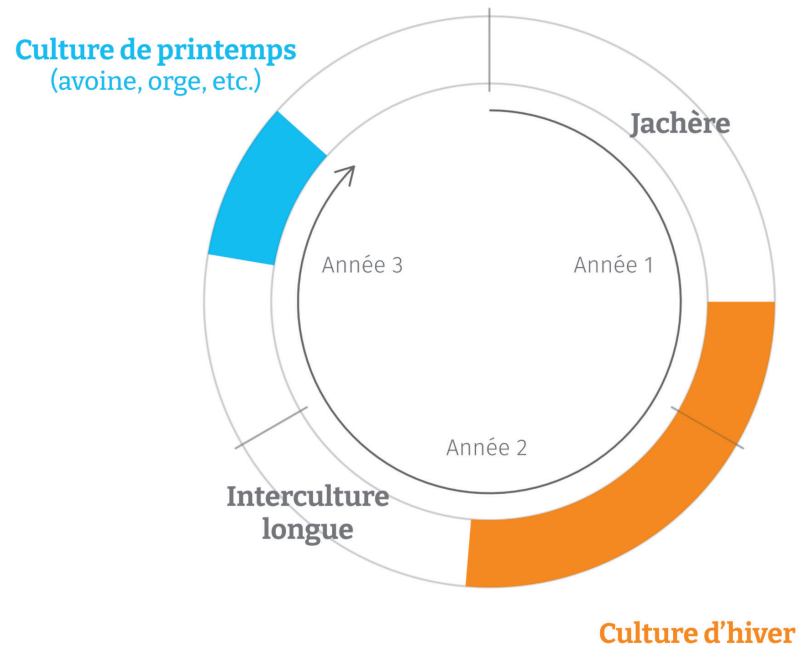
Cette dernière loi a fréquemment été illustrée par l'image d'un tonneau dont l'armature est composée de lames de bois de différentes tailles. Quelle que soit la taille des autres lames de bois, le volume d'eau maximal que peut contenir le tonneau sera toujours limité par la taille de la lame la plus petite : c'est le facteur limitant. Par analogie, pour les cultures, le rendement sera d'abord limité par l'élément dont l'offre sera la plus faible par rapport au besoin de la plante. Les découvertes de von Liebig concernant la nutrition des plantes vont entraîner le **développement de l'industrie des engrais**.

L'évolution des assolements

Assolement biennal de l'Antiquité



Assolement triennal du Moyen Âge



Le développement des engrais

Avec les lois de Liebig, les agronomes vont comprendre que certains éléments sont plus importants que les autres pour garantir la nutrition des cultures et ainsi assurer les rendements agricoles. Alors que les systèmes agricoles précédents étaient plutôt basés sur l'enrichissement du sol, avec la complémentarité entre l'*ager* et le *saltus* citée précédemment par exemple, l'industrie des engrais va fortement se développer au XIX^e siècle.

NOURRIR LE SOL OU NOURRIR LES PLANTES

En agronomie, **les amendements désignent l'ensemble des produits dont l'épandage vise principalement à améliorer les caractéristiques du sol** (comme les fumiers, qui vont apporter de la matière organique ou la chaux, qui va permettre de lutter contre l'acidification naturelle des sols). **Les engrais, quant à eux, sont des produits qui vont apporter des éléments minéraux (principalement l'azote, le phosphore et le potassium) sous des formes directement utilisables par les plantes**, sans passer par une phase de minéralisation dans le sol. Il est important de préciser ici que, pour les engrais, ce qui compte est bien la teneur en éléments minéraux assimilables par les plantes, et non la teneur totale. Par exemple, certaines roches peuvent présenter des teneurs élevées en phosphore mais, en l'absence d'un traitement chimique préalable pour augmenter la solubilité de cet élément, il va rester inerte dans le sol, non accessible pour les plantes. De façon générale, les éléments minéraux doivent être en solution dans la phase liquide du sol pour pouvoir être prélevés par les racines.

LES PREMIERS ENGRAIS

Alors que les apports des amendements organiques, comme les fumiers, ne sont plus suffisants pour garantir des rendements agricoles qui répondent aux besoins d'une population mondiale grandissante, le XIX^e siècle va donc être marqué par la recherche des produits pouvant être utilisés comme engrais. L'ivoire, ou encore les ossements, ont été parmi les premiers engrais utilisés en agriculture pour couvrir les besoins en phosphore des plantes. Il a même été envisagé d'utiliser la terre des cimetières pour combler les besoins des cultures. Plus tard, les scories Thomas, co-produits issus de la fabrication de l'acier, ont été utilisées pour fertiliser et chauler simultanément les champs. Mais dans cette quête aux engrais, un produit a occupé une place particulière : le guano. **Le guano est un engrais organique très efficace**, contenant plus de 10 % d'azote et de phosphore, qui est formé par le dépôt des fèces de certains oiseaux sur la côte Pacifique de l'Amérique du Sud. L'intérêt de cette ressource était connu des civilisations andines, avec des traces d'utilisation du guano qui remontent à plus de 3 000 ans. Au XIX^e siècle, **le guano était extrait des îles du Pacifique pour être exporté en Europe et épandu dans les champs**. Des tensions concernant la propriété des îles où le guano était abondant ont alors conduit à la Guerre du Pacifique (1879-1884) qui oppose le Chili au Pérou et à la Bolivie. À la suite de cette guerre, remportée par le Chili, les frontières de la Bolivie ont été redéfinies et le pays a perdu son accès à l'océan Pacifique.