



Le blé

collectif sous la direction d'**Hervé Le Stum**

- ❑ Le blé à la conquête du monde
- ❑ Le blé pilier de l'économie française
- ❑ Les défis de demain

Avant-propos

Pourquoi un livre de plus sur le blé ? L'ambition de cet ouvrage est de tenter d'explorer les univers qui le concernent, d'ouvrir des fenêtres, de montrer son importance et son universalité. Il s'agit de souligner aussi le côté « merveilleux » d'une espèce végétale vivant en symbiose avec l'homme.

Chacun des chapitres de ce livre peut être consulté quasi indépendamment des autres. Toutefois, seul leur rassemblement peut donner une idée globale de ce qu'est et de ce que représente le blé. Les thèmes abordés n'ont pas été traités de manière exhaustive par les spécialistes qui ont rédigé les différents chapitres : ils font le point sur l'état actuel des connaissances et sur les problématiques du moment ; une bibliographie, succincte compte tenu du nombre de publications concernant le blé, renvoie à l'essentiel pour les lecteurs qui désirent approfondir tel ou tel sujet. Les termes scientifiques et techniques, signalés dans le texte par un astérisque, sont regroupés et expliqués en fin d'ouvrage sous forme de glossaire.

Les deux parties principales de cet ouvrage, celle qui concerne le blé dans le monde d'une part, et celle qui traite du blé en France d'autre part, sont encadrées par une évocation des différentes portées symboliques du blé dans nos civilisations et par un questionnement sur le futur de cette production universelle.

Le blé est une des plantes majeures qui, avec le riz et le maïs, ont accompagné l'évolution de l'humanité, et permis son développement. Il fait partie de l'histoire intime des civilisations et son « influence » ne cesse de progresser dans le monde.

Le blé est à la base de l'alimentation de milliards d'hommes sur les cinq continents. C'est l'une des premières plantes domestiquées par l'homme et l'une des plus répandues géographiquement. Sa production ne cesse de croître, précédant et permettant l'expansion démographique de la race humaine.

Mais le blé, ce sont aussi des champs, des paysages, des silos, des camions, des trains, des navires, des moulins, qui font partie de notre environnement, de nos paysages et de notre culture. Son évocation couvre des dimensions bien plus générales que la simple production de nourriture. Parce qu'il est au cœur de la mondialisation, que son économie a contribué à la naissance des instruments financiers, qu'il participe et profite de l'avenir des technologies. Bien qu'ancestrale, la culture du blé est une industrie à la pointe du progrès et un enjeu d'avenir.

Sommaire

Avant-propos	III
Le blé est l'humanité.	1
PARTIE I – AU-DELÀ DE LA PLANTE	3
1 Blé et paysages	5
Champs ouverts sur un horizon de blé	6
La Beauce, océan de blés.	7
Vallées et montagnes.	8
L'Égypte, toute blonde d'épis.	10
2 Blé et religions	12
Du blé dans l'ambroisie	12
Blé et fertilité	13
Le bon grain et l'ivraie.	15
Renaître après la moisson	17
3 Blé et culture populaire	20
Les travaux et les jours.	20
Du labeur des champs, la richesse de tous	22
L'amour, le corps, la vie, la mort.	24
4 Blé et art.	27
Exploration de la matière, immersion dans la couleur	27
La mesure du temps et le rappel des origines	29
De la célébration du divin à la célébration de l'humanité.	31
PARTIE II – LE BLÉ À LA CONQUÊTE DU MONDE	33
5 Domestication et expansion	35
De l'émergence néolithique à 1400.	35
La domestication, une histoire complexe liée à la polypléidisation	35
Deux dispersions initiales vers l'Afrique et l'Europe, ainsi que vers l'Asie centrale et de l'Est.	41
Des premiers brassages des blés antiques à 1400	45

Temps modernes et révolution agricole : de 1400 à la Première Guerre mondiale	52
Avant 1750, les « grandes découvertes européennes » propagent le blé hors d’Eurasie	53
De 1750 à 1914, l’Occident prend le leadership de l’innovation du blé	56
De 1918 à nos jours	64
De 1918 à 1950, des gains de productivité disparates	64
Depuis 1950, la production mondiale du blé connaît des progrès sans précédent	68
6 Une économie mondialisée	75
La plante cultivée la plus géographiquement répandue dans le monde. .	75
Une production à destination essentiellement de l’alimentation humaine . .	76
Une photosynthèse moins efficace que celle des plantes, mais aussi moins exigeante	77
Les avantages du blé en culture et en utilisation par rapport aux deux autres grandes céréales, le riz et le maïs	78
Un nombre impressionnant de pays le cultivent et le consomment	80
Un marché mondial réel, significatif et déterminant	82
Des échanges en croissance structurelle	82
Les exportations se font à partir d’un nombre restreint de pays	83
De très nombreux pays sont acheteurs de blé	84
Sur le très long terme, les prix ont progressé par paliers, mais ils sont de plus en plus volatils	86
La farine fait l’objet d’un marché restreint, mais stratégique	88
Des multinationales indispensables au commerce	89
7 Des politiques agricoles nécessaires et diverses	94
À l’origine, un besoin de régulation pour assurer l’approvisionnement des consommateurs en cas de mauvaise récolte	95
La recherche de l’autosuffisance dans les pays déficitaires	96
L’Organisation commune de marché des céréales : un système protectionniste dynamique quasi parfait	97
La politique au service de la conquête des marchés : les <i>deficiency payments</i> américains	99
Le cas particulier des boards	100
Le blé et le maïs sont, avec le soja et le coton, les principaux sujets des discussions agricoles internationales	102
L’évolution des politiques céréalieres dans les années 2000	103
8 Le blé à l’origine de l’économie financière	110
Invention des marchés à terme	111
Qu’est-ce qu’un contrat à terme ?	113

Des contrats d'option les plus simples aux produits dérivés les plus sophistiqués, l'ingénierie financière s'est révélée très créative	114
Les marchés de produits financiers qui ont pour sous-jacents des matières premières contribuent-ils à accroître ou à réduire la volatilité des prix ?	114
PARTIE III – LE BLÉ, PILIER DE L'ÉCONOMIE FRANÇAISE	117
9 Le blé en France : un succès qui s'est fait attendre	119
La production de blé en France : une explosion sur les cinquante dernières années.	119
Du Premier Empire à la Troisième République : une lente croissance . . .	120
Les crises et les deux guerres mondiales : la tourmente	123
Les Trente Glorieuses et l'an 2000 : le blé français à la conquête du monde.	126
10 Le blé, une culture de haute technologie	137
Un mécanisme d'élaboration du rendement complexe	137
La création variétale.	140
Pourquoi a-t-on inventé la sélection ?	140
Évolution des objectifs de sélection	141
Évolution des méthodes de sélection : impact des biotechnologies	143
La caractérisation fine du matériel végétal et de sa variabilité (phénotypage, sélection assistée par marqueurs).	143
La création de nouvelles variabilités, dont les biotechnologies constituent un outil majeur.	144
Un rôle prépondérant dans l'amélioration des performances : rendement, résistance, qualité, efficacité des intrants	146
Alimentation des plantes.	148
Cas de l'azote	148
Autres éléments fertilisants	152
Protection des cultures : des démarches de plus en plus intégrées.	154
Les maladies	154
La lutte contre les mauvaises herbes.	158
Les ravageurs	159
Des voies de recherche pour une protection des cultures efficace et moins consommatrice de produits phytosanitaires	159
En termes de maladies	159
Concernant les ravageurs	160
En matière de désherbage	160
Des agroéquipements de plus en plus performants	160

11 Des utilisations multiples	164
Gestion de la collecte et stockage	164
Caractéristiques techniques et critères technologiques essentiels	164
Stockage et conservation des grains	170
12 Le système blé-industrie, tissu de la campagne, trame du territoire	172
Protohistoire et histoire	172
Le système blé-industrie	179
Extension et compréhension du système	179
Les surfaces	179
Les volumes	179
La valeur technologique	179
La régulation publique	180
Les acteurs, organisations et représentations	180
Les matières riches en glucides (MRG), système industrie élargi incluant le blé	181
Les utilisations du blé en France	182
La filière blé-farine, système blé finalisé	183
Une économie sociale et territoriale	184
Un tissu d'emplois sans égal	184
Une structure originale, une dynamique entrepreneuriale	184
Un secteur coopératif dominant	185
13 Le blé français doit rester compétitif	189
Les principaux facteurs de concurrence	189
Les différences de coût de production du blé entre pays sont significatives	190
Les autres facteurs de compétitivité	194
14 Le blé français, l'organisation de sa filière et ses structures : un modèle unique au monde	195
Une organisation économique d'origine étatique	195
Une organisation syndicale très « économique »	197
Une diversité de la représentation assurée par les statuts	198
Un projet à long terme	198
L'ouverture des débouchés	198
L'amélioration de la compétitivité	199
Des structures de développement et d'expansion	200
Le développement technique de la production	200
La consolidation et la recherche de débouchés	201
Une opération de solidarité pour consolider les débouchés vers l'élevage	201

Affronter le marché mondial	202
Améliorer le marché domestique	203
La cogestion et le financement des actions céréalières	203
Un financement à base de taxes parafiscales négociées entre l'État et les producteurs de blé	204
Une multiplication des taxes parafiscales	204
La diminution des taxes parafiscales	205
Le remplacement des taxes par des CVO	206
La CVO semences de ferme	207
PARTIE IV – LES DÉFIS DE DEMAIN	209
15 Le défi numérique et les big data	211
Des outils pour une agriculture plus précise	211
Les capteurs produisent l'information	211
Les modèles interprètent l'information et aident à la décision	212
L'information traitée est rendue opérationnelle	213
Les robots appliquent les décisions	214
Le numérique impacte aussi l'environnement de l'exploitation	215
Des exploitations interconnectées et plus branchées sur leur environnement technico-commercial	215
Le numérique modifie les méthodes d'expérimentation et de recherche	215
Le conseil technique et la distribution des produits nécessaires à l'exploitation sont concernés	217
De nouvelles questions se posent	217
La propriété des données doit rester à l'agriculteur	218
Le numérique envahit également les fonctions des fournisseurs et des acheteurs de l'agriculteur	218
Le numérique provoque du changement dans les exploitations	219
Le numérique impactera l'organisation agricole mondiale	219
16 Les biotechnologies du blé aujourd'hui et à l'horizon 2030	221
Les biotechnologies appliquées aujourd'hui au blé	222
Culture <i>in vitro</i> , haplodiploïdisation*, marquage moléculaire, séquençage et sélection génomique	222
Transformation génétique	224
Technologies de contrôle de l'expression des gènes	224
Édition génomique	225
Premières applications commerciales envisageables pour les blés génétiquement modifiés	225
Blés génétiquement modifiés	225
Traits qualitatifs	225
Traits agronomiques	226

Contrôle des maladies.	226
Contrôle des parasites.	226
Autres biotechnologies vertes liées à la génétique du blé pouvant évoluer significativement d'ici à 2030.	227
Développement simultané de biotechnologies blanches liées au blé ...	227
Obstacles autres que techniques au développement des biotechnologies du blé	228
17 Une insertion environnementale maîtrisée	230
Le blé : une responsabilité particulière ?	230
Phyto-sanitaire, une utilisation modeste, mais sur de grandes surfaces ..	231
Risque nitrates, la maîtrise par la technologie.	232
Une contribution positive à certains enjeux environnementaux	234
18 Un défi démographique à portée	235
La démographie mondiale explose, la production de blé suit.	235
Les questions pour 2050	238
La population et ses besoins	238
Les surfaces et les rendements	239
Des éléments peuvent contrecarrer ces prévisions favorables	240
Les centres de consommation s'éloignent des centres de production	241
19 Les comportements sociétaux et les problèmes de santé prennent de l'importance.	242
Un contexte difficile du maintien de la consommation de pain	242
Le pain favorise-t-il l'obésité ?	245
Les « intolérances » au gluten augmentent	245
Les habitudes alimentaires changent rapidement.	246
Quel avenir ?	249
Glossaire	251
Liste des figures, photos et tableaux	255
Bibliographie et sitographie indicatives	260

Le blé est l'humanité

L'univers du blé est riche, multiple, complexe, foisonnant, vivant, fascinant. L'univers du blé est celui de l'homme. Des mécanismes intimes de l'ADN¹ à l'évocation de Dieu, en passant par la technique, l'économie, la finance et les arts, c'est la vie de l'humanité qui se reflète en lui. Le blé contient la merveilleuse histoire de la rencontre entre une plante extraordinaire et les hommes, une plante qui ne vit et ne prolifère que par eux et pour leur bien-être. Il est au cœur d'une co-construction de civilisation, et restera sans aucun doute indispensable à l'avenir de l'humanité.

On ne peut parler du blé sans commencer par se rappeler tout ce qu'il évoque dans l'inconscient des hommes, ce qu'il représente dans certaines civilisations, notamment la civilisation occidentale, sur les plans religieux, culturel, artistique. Est-ce un hasard si les grandes religions monothéistes sont nées dans le berceau du blé ? On ne peut nier son importance dans l'organisation et la structuration des sociétés humaines.

On ne peut parler du blé, de ses origines, de sa sélection et de son amélioration, sans plonger au plus profond des mécanismes génétiques, sans évoquer les fabuleux progrès et les promesses de la génomique*.

On ne peut parler du blé et de son rôle dans l'alimentation de l'humanité sans voyager dans la majorité des pays du monde, qu'ils soient excédentaires ou importateurs, donnant ainsi lieu à un des plus grands commerces de la planète. Or les nécessités de ce commerce ont amené l'invention des instruments financiers qui dominent le monde bancaire d'aujourd'hui.

On ne peut parler du blé sans évoquer les décisions politiques destinées à assurer la sécurité des consommateurs partout dans le monde, et en omettant de rappeler les tractations sur le commerce international et les accords dont il est l'objet central.

On ne peut parler du blé en ignorant le rôle déterminant qu'il a occupé depuis toujours dans l'économie française et sans s'émerveiller de sa fabuleuse expansion au cours des cinquante dernières années.

On ne peut parler du blé sans connaître les conditions de sa culture, sans mesurer l'extraordinaire modernité de cette plante très ancienne qui mobilise pour sa production dans les pays développés les techniques les plus pointues.

On ne peut parler du blé sans souligner l'importance des industries et le nombre d'emplois qu'il a générés dans tous les villages, dans toutes les régions, dans tous les pays. On ne peut pas parler du blé sans s'étonner de la multitude de ses utilisations, et en particulier de celles qui apparaissent en dehors de l'alimentation sur des produits que l'on pensait réservés à la chimie du pétrole.

1. Les astérisques renvoient au glossaire en fin d'ouvrage.

On ne peut parler du blé sans évoquer les hommes qui ont conduit cette aventure au travers d'organisations professionnelles destinées à accroître l'efficacité économique de la production, tout en assurant un certain nombre de liens de solidarité avec le reste de l'agriculture et la société.

On ne peut enfin parler du blé sans évoquer les grands sujets de l'avenir des hommes : la capacité à produire de la nourriture, les progrès de la recherche, l'intégration des technologies numériques, la protection des ressources naturelles, la gestion des problèmes nutritionnels. Blé et humanité sont inséparables.



Le blé, pilier de l'économie française

Le blé est la plante qui domine l'espace cultivé français. Avec 5 Mha, il occupe une surface proche de la moitié de la surface en céréales et plus du tiers des terres labourées en France. Il est omniprésent dans les paysages de plaine. En été, on en identifie facilement les parcelles au milieu des herbages ou dans les montagnes. Il est impossible de voyager en France sans en voir.

Le blé a joué de tout temps un rôle important dans l'économie française : d'abord une charge avant la Seconde Guerre mondiale, puis un atout au cours des Trente Glorieuses. Il est encore, en 2017, un élément structurel important de la richesse française.

Le blé en France : un succès qui s'est fait attendre

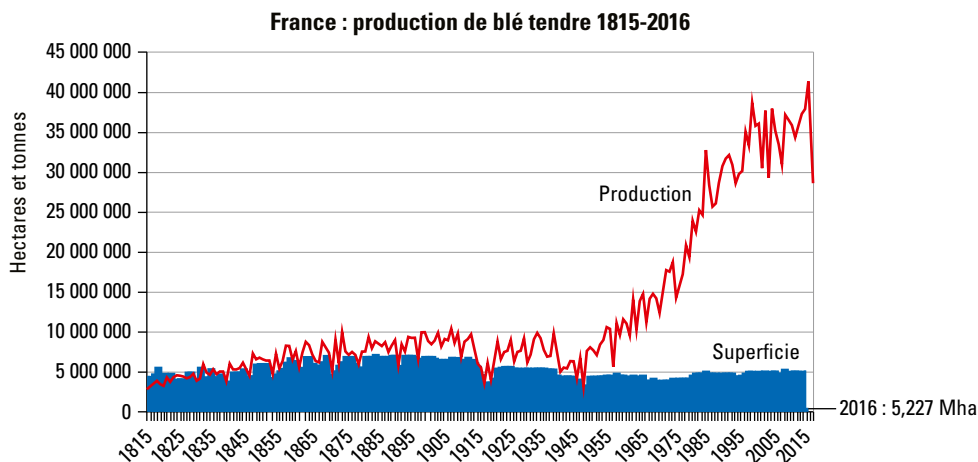
L'histoire du blé en France est une histoire extraordinaire, celle d'une réussite exceptionnelle : le passage d'une situation de dépendance dangereuse pour la nation à celle de l'indépendance alimentaire, puis à celle de contributeur nécessaire à la nourriture de la planète. Des statistiques relativement fiables existent depuis deux cents ans qui permettent de raconter cette histoire.

En effet, la première publication de statistiques agricoles concernant l'ensemble du territoire français a été l'œuvre du Bureau de la statistique générale du ministère du Commerce en 1840. Concernant le blé, du fait de son caractère stratégique et de son intérêt comme support de taxation, il est possible de remonter plus loin, jusqu'en 1815, grâce à des séries reconstituées en 1911 par les statisticiens des ministères du commerce et de l'agriculture.

La production de blé en France : une explosion sur les cinquante dernières années

Ces deux siècles de suivi de la production de blé tendre, de 1815 à 2015, peuvent être grossièrement découpés en trois périodes d'environ 70 ans chacune (Fig. 9.1) :

- de 1815 à 1880-85, une période de croissance faible mais continue ;
- de 1880-1885 à 1945-1950, une période de difficile maintien, entrecoupée de guerres ;
- de 1945-1950 à 2015, une croissance extrêmement rapide ; la production est multipliée par cinq, malgré le ralentissement en fin de période.



▲ **Fig. 9.1** : Deux siècles de production française de blé
Trois périodes peuvent être repérées : une période de croissance lente de la production jusqu'en 1885, une période de stagnation, voire de régression, jusqu'à la sortie de la Seconde Guerre mondiale, enfin une période de croissance exceptionnelle.

Source : Compilation d'annuaires statistiques de la France

Du Premier Empire à la Troisième République : une lente croissance

C'est une période très agitée, avec deux révolutions, deux Républiques, un Empire et une guerre. Pourtant la production de blé ne paraît pas très perturbée et croît lentement mais régulièrement (Fig. 9.2).

Les surfaces augmentent, passant de 4,85 Mha en moyenne annuelle en début de période à 7 Mha en fin de période (+ 31 %). La croissance est très régulière, malgré les variations annuelles dues au climat, avec, en tendance, 47 000 ha de plus chaque année, jusqu'en 1869. À partir de cette date, les surfaces plafonnent. 7 Mha sera le maximum historique de la sole de blé en France (actuellement cette sole est de l'ordre de 5 Mha).

Le rendement moyen national progresse de 7,1 à 11,8 q/ha (+ 66 %, mais seulement + 0,05 q/ha/an). Conséquence : le volume de la production triple, de 3,5 Mt à 10,3 Mt. La production plafonne en fin de période puisque les surfaces ne progressent plus. Les variations du rendement d'une année sur l'autre s'amplifient.

Ces soixante-dix ans correspondent à la fin de la petite ère glaciaire débutée en 1540. Les effets du réchauffement climatique se font réellement sentir à partir de 1850. La très faible croissance des rendements des blés peut-elle être imputée à l'adaptation naturelle des plantes à cette évolution climatique ?

Les débuts de la sélection de variétés plus productives n'impactent pas encore l'évolution du rendement. L'introduction des premières variétés anglaises en Flandres et en Picardie date de 1850, et ce n'est qu'à partir de 1880 que Vilmorin systématisa les croisements pour obtenir des variétés plus productives. L'amélioration des techniques culturales diffuse lentement : il faut tout le siècle pour que la charrue remplace l'araire et que l'utilisation des premiers engrais phosphatés se répande.

De 1815 à 1850, les échanges de blé avec l'étranger restent faibles, mais déficitaires. Le solde du commerce extérieur n'atteint qu'exceptionnellement 500 000 t d'importations dans l'année. Une protection aux frontières a été mise en place par la loi de juillet 1819, renforcée en 1821. Cette protection repose sur des prix de référence (21-22 F/hl) et l'application de taxes variables à l'importation, proportionnelles à la baisse des prix extérieurs par rapport au prix de référence, jusqu'à une valeur plancher ; si la baisse du prix excédait 3 F/hl, atteignant ainsi ce plancher, les importations étaient purement et simplement interdites. Par exemple, si le prix cible fixé politiquement était de 21 F/hl, le droit proportionnel appliqué était de 1 F/hl lorsque le quintal importé coûtait 20 F/hl, 2,50 F si l'hectolitre coûtait 18,50 F. Si le prix de la marchandise importée devenait inférieur à 18 F/hl, les importations étaient purement et simplement interdites.

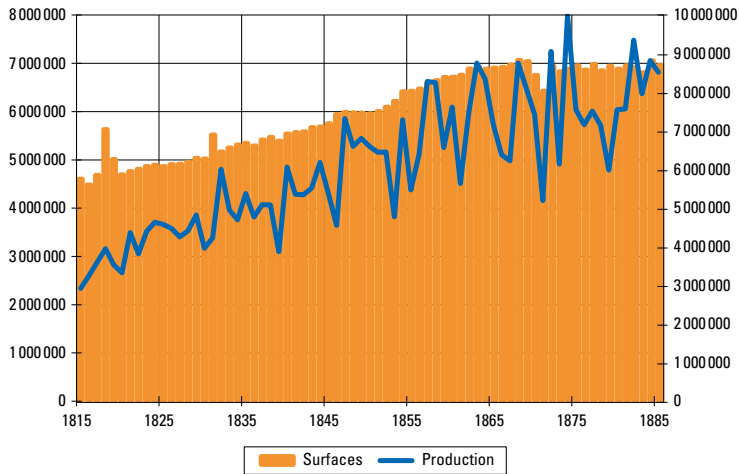
La France est déficitaire de 45 000 t par an en moyenne au long de ces trente-cinq années.

Le Second Empire choisit le libéralisme dans les échanges extérieurs. La quasi-disparition des droits de douane en juin 1860 creuse le solde du commerce extérieur ; il atteint le million de tonnes annuel. Les premières années de la Troisième République voient la situation se dégrader encore, puisqu'à partir de 1880, un solde déficitaire annuel de 2 Mt n'est pas rare (Fig. 9.2 bis).

Ces importations se situent dans un contexte de prix d'une stabilité exceptionnelle : alors que l'inflation, en tendance, est nulle tout au long du XIX^e siècle, la hausse du prix du blé, jusqu'en 1880, n'est que de 10 % sur l'ensemble des soixante-dix ans, hors fluctuations annuelles liées à l'abondance ou la rareté des récoltes, et donc au climat. Ce n'est qu'à partir de 1880 qu'un début de décrochage des prix, certainement lié à l'augmentation des importations, se produit (Fig. 9.2 ter).

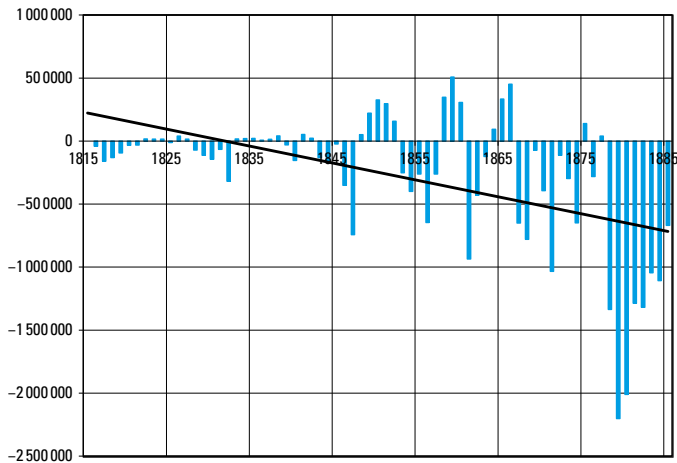
Malgré l'augmentation de la population française qui s'accroît de 165 000 habitants par an durant ces soixante-dix ans, les disponibilités en blé (production + importations – exportations) augmentent de 1,77 kg/hab/an, et passent de 120 à 250 kg/hab/an.

Parallèlement, l'utilisation des autres céréales panifiables (seigle) par les Français diminue, passant de 49,8 à 38,4 % de la consommation humaine de grains entre 1815 et 1852 et le mouvement se poursuit tout au long du siècle. La guerre de 1870 n'a finalement que peu d'impact. La situation alimentaire de la France s'améliore donc considérablement, quantitativement et qualitativement. Les disettes disparaissent et le pain blanc remplace le pain bis.



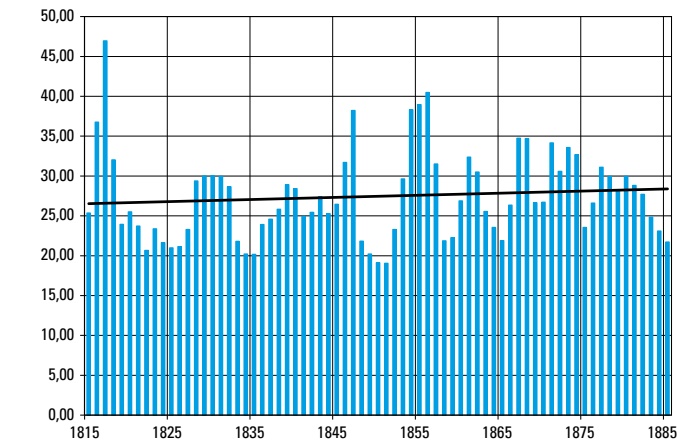
◀ **Fig. 9.2** : Surfaces (ha) et production (t) - 1815-1885

Source : Annuaire statistique de la France



◀ **Fig. 9.2 bis** : Solde du commerce extérieur blé (t) - 1815-1885

Source : Annuaire statistique de la France



◀ **Fig. 9.2 ter** : Prix du blé (F/q) - 1815-1885

Source : Annuaire statistique de la France

IV



Les défis de demain



Le défi numérique et les big data

En 2016, les technologies disponibles en agriculture permettent de piloter une exploitation céréalière depuis son bureau, devant son ordinateur, en sirotant sa tasse de café (c'est du moins ce que propose une vidéo pas si futuriste que ça de John Deere). Certains trouvent cela génial, beaucoup sont horrifiés. Pourtant, leur coût – mais il va baisser –, et, sans doute aussi, pour partie des problèmes d'acceptation sociale, font que l'ensemble de ces technologies n'est pas encore en œuvre. Mais leur utilisation partielle a déjà débuté et depuis vingt ans les progrès sont considérables.

En effet, les capteurs sont là, les modèles informatiques d'analyse des problèmes et de prise de décision sont là, les technologies de partage de l'information sont là, les robots existent. L'efficacité de l'imagination humaine ne va cesser d'enrichir cet ensemble. Et comme dans bien d'autres activités, ces progrès font peur, car ils apparaissent comme non maîtrisables, comme échappant au contrôle du commun des mortels. Comment tout cela fonctionne-t-il ? Quelles sont les perspectives ?

Des outils pour une agriculture plus précise

L'irruption du numérique dans les activités de production agricole est passionnante à observer car elle intervient à différents niveaux du processus de production agricole. Elle permet la création de liens entre ces niveaux et provoque une synergie générant sans cesse des nouveautés et remettant parfois en cause les structures et les modes de fonctionnement traditionnels. Les marchés de l'équipement agricole sont souvent trop étroits pour dégager une forte capacité de financement de la recherche et de l'innovation, mais ils sont en tête pour la récupération, l'adaptation et l'adoption de techniques mises au point dans d'autres secteurs. À la base sont les capteurs qui recueillent l'information. Cette information est ensuite traitée, puis partagée. Des règles de décision amènent à des actions qui peuvent être mises en œuvre par des hommes ou des robots.

Les capteurs produisent l'information

Les capteurs ont été inventés pour soulager l'homme d'une fonction fastidieuse et peu enrichissante : la surveillance des événements. Leurs avantages sont de deux ordres : ils travaillent en continu, sans besoin de présence humaine, et ils mesurent, ils quantifient massivement et avec une très grande précision des observations qui, sans eux, resteraient parcellaires et du domaine de l'impressionnisme.

Par exemple, dans une serre, les premiers capteurs ont été des thermomètres. Mais ils ont été rejoints par des compteurs d'eau, puis par des baromètres, de plus en plus sophistiqués, des appareils capables de mesurer l'hygrométrie, la teneur en CO₂, etc., qui permettent aujourd'hui de piloter finement les conditions de production d'une laitue ou d'une tomate. Aujourd'hui, des stations météorologiques automatiques placées sur les parcelles permettent en grandes cultures de calculer, par exemple, les risques de maladies (liées aux températures, à la pluviométrie, à l'humidité de l'air). À très courte échéance, elles pourront être remplacées par des « stations virtuelles », modélisées à partir des données recueillies par le réseau de stations et de radars qui couvrent le territoire.

Les capteurs sont de plusieurs types et peuvent mesurer une quantité astronomique d'événements. Dans le domaine du blé, et plus généralement des grandes cultures, il existe :

- des capteurs gérant le monitoring et l'automatisation des machines (tracteurs, moissonneuses-batteuses, etc.) : ils permettent d'améliorer leur efficacité et la précision de leur travail dans le champ, mais aussi de renforcer la protection de leur conducteur, d'enregistrer les données de fonctionnement interne pour détecter et prévenir les pannes ;
- des capteurs percevant et mesurant l'environnement par les machines : l'exemple typique est la mesure instantanée du rendement par une moissonneuse-batteuse, mettant en évidence les grosses différences qui peuvent exister à l'intérieur d'une même parcelle. Cette mesure est couplée à un capteur de localisation de la machine par GPS permettant d'établir la cartographie de la parcelle. Ces fonctions ont donné naissance à l'agriculture de précision. D'autres capteurs permettent à des machines de « voir » leur environnement et d'éviter des obstacles et de travailler dans un espace inconnu ;
- des capteurs mesurant des données agronomiques : ils sont capables de mesurer instantanément l'état nutritionnel d'un plant de blé et sont utilisés pour affiner les apports d'engrais. Des sondes automatiques permettent d'évaluer l'état hydrique du sol et d'optimiser ainsi l'irrigation. D'autres capteurs embarqués sur des satellites, couplés à des modèles de croissance et développement des plantes font l'objet de vente de service (Farmstar, par exemple, pour optimiser la fertilisation azotée des céréales et du colza).

Il faut ensuite exploiter cette masse considérable de données (big data).

Les modèles interprètent l'information et aident à la décision

Les capteurs fournissent le plus souvent une donnée (variable biophysique : par exemple une teneur en chlorophylle de la plante blé) qui n'est pas directement utilisable par l'agriculteur. Elle doit être traitée au travers d'un modèle pour passer de cette donnée à une préconisation technique.

Ces modèles traduisent en langage mathématique et informatique les connaissances empiriques ou expérimentales concernant la culture, de son semis à la récolte, ainsi que le développement des maladies par exemple.

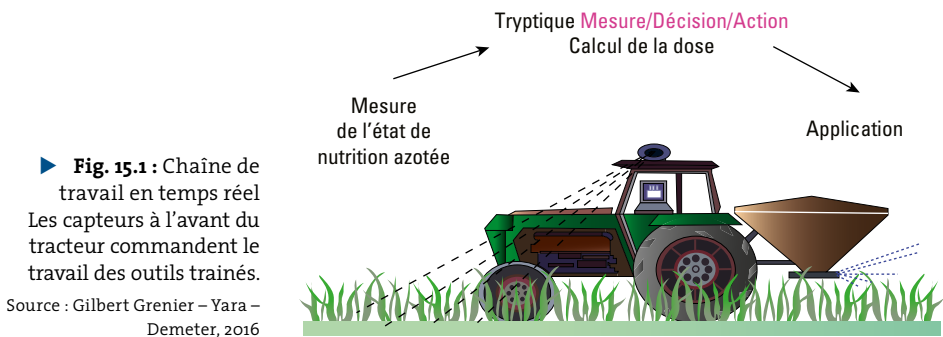
L'INRA et Arvalis-Institut du végétal ont ainsi mis au point, à partir de données expérimentales, en laboratoire et en champ d'essais, des modèles de croissance du blé. Ces modèles indiquent quelles sont les conditions les plus favorables à chaque moment du cycle de production et tentent de prédire les conséquences lorsque des écarts se produisent par rapport à la trajectoire idéale.

En croisant ces modèles avec la masse de données issues d'une parcelle réelle en cours d'année, il est possible d'adapter les techniques culturales et d'améliorer le résultat final. C'est l'aide à la décision (outils d'aide à la décision, OAD). Ensuite, l'injection des données du suivi réel de la culture dans la base de données initiale permet de l'enrichir et d'améliorer le modèle de façon continue. Il s'agit là réellement d'accumulation d'expérience quantifiée, qui permet également d'élaborer des variantes de plus en plus complexes du modèle de base en prenant en compte différentes configurations, comme la localisation géographique ou les caractéristiques climatiques.

Ces outils d'aide à la décision se multiplient dans le domaine agricole et sont appliqués à chaque culture, le blé étant très fortement concerné compte tenu des surfaces qu'il représente. Ils permettent de piloter la nutrition minérale, de déclencher l'irrigation au moment opportun, de prévenir et traiter les maladies, etc.

L'information traitée est rendue opérationnelle

Pour que le travail de recueil des données et de leur analyse soit rendu opérationnel, il faut utiliser les résultats de la modélisation pour piloter les outils. Il faut donc que capteurs et outils travaillent en réseau. C'est le premier niveau d'élaboration de réseaux qui se situe au niveau des machines elles-mêmes. La machine et ses outils communiquent entre eux grâce au bus CAN (Controller Area Network) issu de l'industrie automobile. Ainsi, le tracteur peut-il transmettre des informations au semoir ou à l'épandeur d'engrais qu'il tire pour optimiser leur travail. Des solutions telles celles de la figure 15.1 où une chaîne complète de travail est représentée, avec détection de l'état de la végétation au centimètre près, interprétation des mesures par un modèle présent dans l'ordinateur du tracteur et transcription en temps réel des actions à effectuer par l'outil tiré par le tracteur, se répandent rapidement.



Ces techniques apportent de la flexibilité et surtout sont capables de gérer au plus près les variations intra-parcellaires, pour le plus grand bénéfice de l'environnement et du portefeuille du producteur.

Les outils doivent également communiquer avec l'extérieur. Le développement des systèmes d'information géographique, les SIG, ont rendu banale l'utilisation du GPS. Des

Pourquoi ce livre sur le blé ? Pour en montrer l'importance et l'universalité. Le blé, plante majeure, comme le riz et le maïs, a permis et accompagné l'humanité, son évolution et son développement. Elle fait partie de l'histoire intime des civilisations et son « influence » ne cesse de progresser.

Il est la base de l'alimentation pour des milliards d'hommes sur les cinq continents et sa production ne cesse de croître, précédant et permettant l'expansion de la démographie humaine.

Mais le blé c'est aussi des champs, des paysages, des silos, des camions, des trains, des cargos, des moulins, qui font partie de notre environnement et de notre culture. Son évocation couvre des dimensions bien plus générales que la simple production de nourriture.

Grâce à la facilité de son stockage, de sa conservation et de son transport, il est devenu un élément incontournable de la mondialisation. Ses conditions de production et son commerce font l'objet d'âpres discussions internationales.

Le blé participe et profite de l'avenir des technologies. Qu'elles soient numériques ou bio, les nouvelles technologies deviennent de plus en plus importantes dans la production de blé. Sa culture est une industrie à la pointe du progrès.

Cet ouvrage de référence sur le blé présente :

- la place du blé dans la civilisation occidentale sur les plans religieux, culturels et artistiques ;
- l'histoire du blé de la domestication à l'expansion ;
- le rôle du blé dans l'économie française ;
- les défis technologiques auxquels faire face.

*Les auteurs : **H. Le Stum** (Intercéréales - également coordinateur de l'ouvrage), **A. Bonjean** (Groupe Limagrain), **J.-M. Bouquery** (Académie d'Agriculture), **J. Mathieu** (Arvalis-Institut du végétal), **O. Ruch** (Passion Céréales), **B. Valluis** (Meunerie française).*