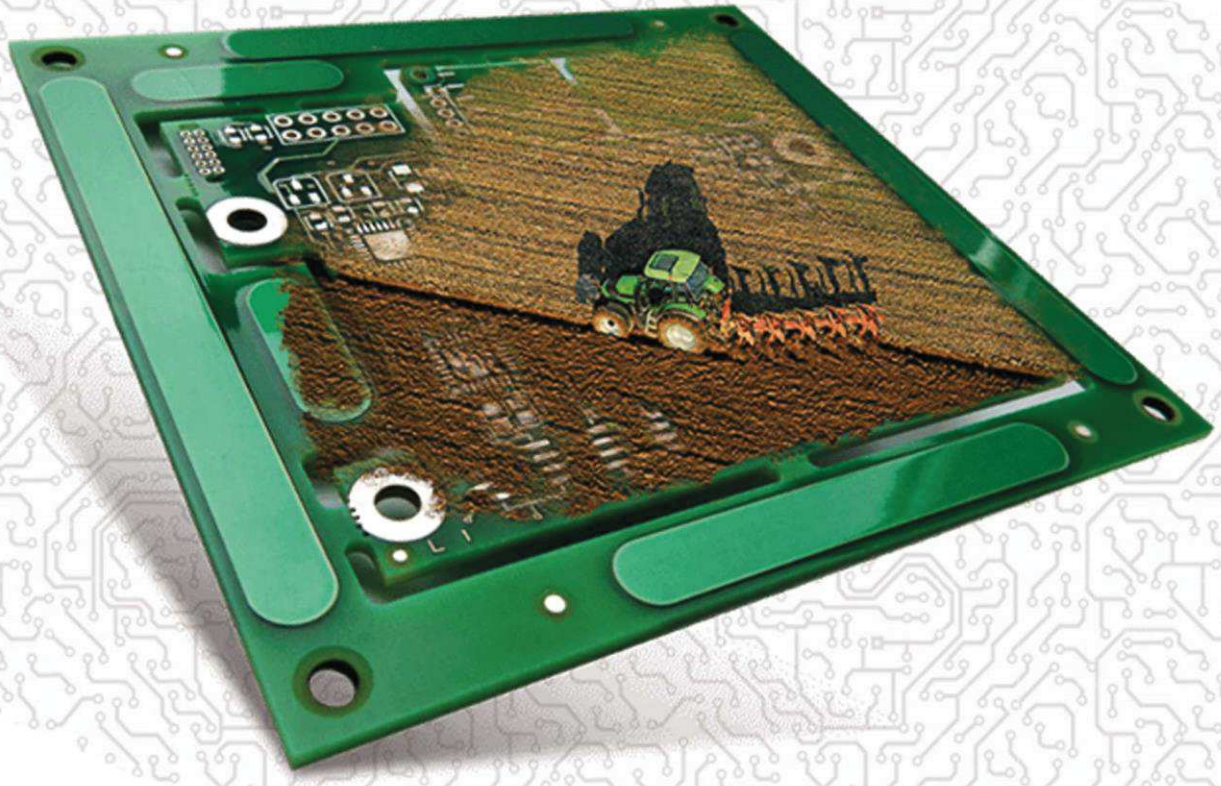
Juin 2018
volume n°8 / numéro n°1
www.agronomie.asso.fr

Agronomie
environnement & sociétés

La revue de l'association française d'agronomie



Agronomie et agriculture numérique
ce qui change pour les agronomes

Agronomie, Environnement & Sociétés

Revue éditée par l'Association française d'agronomie (Afa)

Siège : 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris Cedex 05.
Secrétariat : 2 place Viala, 34060 Montpellier Cedex 2.
Contact : afa@supagro.fr, T : (00-33)4 99 61 26 42, F : (00-33)4 99 61 29 45
Site Internet : http://www.agronomie.asso.fr

Objectif
AE&S est une revue en ligne à comité de lecture et en accès libre destinée à alimenter les débats sur des thèmes clefs pour l'agriculture et l'agronomie, qui publie différents types d'articles (scientifiques sur des états des connaissances, des lieux, des études de cas, etc.) mais aussi des contributions plus en prise avec un contexte immédiat (débats, entretiens, témoignages, points de vue, controverses) ainsi que des actualités sur la discipline agronomique.

ISSN 1775-4240

Contenu sous licence *Creative commons*

Les articles sont publiés sous la *licence Creative Commons* 2.0. La citation ou la reproduction de tout article doit mentionner son titre, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue AE&S et de son URL, ainsi que la date de publication.

Directeur de la publication
Antoine MESSÉAN, président de l'Afa, Directeur de recherches, Inra

Rédacteur en chef
Olivier RÉCHAUCHÈRE, chargé d'études Direction de l'Expertise, Prospective & Etudes, Inra

Membres du bureau éditorial
Guy TRÉBUIL, chercheur Cirad
Philippe PRÉVOST, directeur Agreenium Université en ligne
Danielle LANQUETUIT, consultante Triog et webmaster Afa

Comité de rédaction
- Marc BENOÎT, directeur de recherches Inra
- Gérard CATTIN, retraité de la chambre d'agriculture de la Marne
- Joël COTTART, agriculteur
- Thierry DORÉ, professeur d'agronomie AgroParisTech
- Sarah FEUILLETTE, cheffe du Service Prévision Evaluation et Prospective Agence de l'Eau Seine-Normandie
- Yves FRANCOIS, agriculteur
- Jean-Jacques GAILLETON, inspecteur d'agronomie de l'enseignement technique agricole
- Laure HOSSARD, ingénieure de recherche Inra Sad
- Marie-Hélène JEUFFROY, directrice de recherche Inra et agricultrice
- Aude JOMIER, enseignante d'agronomie au lycée agricole de Montpellier
- Christine LECLERCQ, professeure d'agronomie Institut Lassalle-Beauvais
- Francis MACARY, ingénieur de recherches Irstea
- Adeline MICHEL, Ingénieure du service agronomie du Centre d'économie rurale de la Manche
- Marc MIQUEL, consultant
- Bertrand OMON, Chambre d'agriculture de l'Eure
- Thierry PAPILLON, enseignant au lycée agricole de Laval
- Philippe POINTEREAU, directeur du pôle agro-environnement à Solagro
- Philippe PRÉVOST, Chargé des coopérations numériques à Agreenium
- Bruno RAPIDEL, Cirad
- Anne VERDENAL, agricultrice
- Camille DUMAT, Enseignante d'agronomie à l'ENSA/INP Toulouse

Secrétaire de rédaction
Philippe PREVOST

Assistantes éditoriales
Sophie DOUHAIRIE et Danielle LANQUETUIT

Conditions d'abonnement
Les numéros d'AE&S sont principalement diffusés en ligne. La diffusion papier n'est réalisée qu'en direction des adhérents de l'Afa ayant acquitté un supplément
(voir conditions à http://www.agronomie.asso.fr/espace-adherent/devenir-adherent/)

Périodicité
Semestrielle, numéros paraissant en juin et décembre

Archivage
Tous les numéros sont accessibles à l'adresse http://www.agronomie.asso.fr/carrefour-inter-professionnel/evenements-de-lafa/revue-en-ligne/

Soutien à la revue

- En adhérant à l'Afa via le site Internet de l'association (http://www.agronomie.asso.fr/espace-adherent/devenir-adherent/). Les adhérents peuvent être invités pour la relecture d'articles.
- En informant votre entourage au sujet de la revue AE&S, en disséminant son URL auprès de vos collègues et étudiants.
- En contactant la bibliothèque de votre institution pour vous assurer que la revue AE&S y est connue.
- Si vous avez produit un texte intéressant traitant de l'agronomie, en le soumettant à la revue. En pensant aussi à la revue AE&S pour la publication d'un numéro spécial suite à une conférence agronomique dans laquelle vous êtes impliqué.

Instructions aux auteurs
Si vous êtes intéressé(e) par la soumission d'un manuscrit à la revue AE&S, les recommandations aux auteurs sont disponibles à l'adresse suivante :
http://www.agronomie.asso.fr/carrefour-inter-professionnel/evenements-de-lafa/revue-en-ligne/pour-les-auteurs/

À propos de l'Afa

L'Afa a été créée pour faire en sorte que se constitue en France une véritable communauté scientifique et technique autour de cette discipline, par-delà la diversité des métiers et appartenances professionnelles des agronomes ou personnes s'intéressant à l'agronomie. Pour l'Afa, le terme agronomie désigne une discipline scientifique et technologique dont le champ est bien délimité, comme l'illustre cette définition courante : « *Etude scientifique des relations entre les plantes cultivées, le milieu* [*envisagé sous ses aspects physiques, chimiques et biologiques*] *et les techniques agricoles* ». Ainsi considérée, l'agronomie est l'une des disciplines concourant à l'étude des questions en rapport avec l'agriculture (dont l'ensemble correspond à l'agronomie au sens large). Plus qu'une société savante, l'Afa veut être avant tout un carrefour interprofessionnel, lieu d'échanges et de débats. Elle se donne deux finalités principales : (i) développer le recours aux concepts, méthodes et techniques de l'agronomie pour appréhender et résoudre les problèmes d'alimentation, d'environnement et de développement durable, aux différentes échelles où ils se posent, de la parcelle à la planète ; (ii) contribuer à ce que l'agronomie évolue en prenant en compte les nouveaux enjeux sociétaux, en intégrant les acquis scientifiques et technologiques, et en s'adaptant à l'évolution des métiers d'agronomes.

Lisez et faites lire AE&S !

Sommaire

Avant-propos

P7 - O. RÉCHAUCHÈRE (Rédacteur en chef) - A. MESSÉAN (Président de l'Afa) - M. BENOÎT (président sortant)

Éditorial

P9 - O. RÉCHAUCHÈRE, Y. FRANCOIS, J.P. CHANET, J.N. PAOLI, G. GRENIER (coordonnateurs du numéro)

Etat des lieux des pratiques et dynamiques à l'œuvre

P13 - Agriculture numérique : quelles conséquences sur l'autonomie de la décision des agriculteurs ?
P. JEANNEAUX

P23 - Qu'est-ce que le numérique apporte à l'agriculture ?
G. GRENIER

P33 - L'utilisation des technologies numériques dans une CUMA : l'exemple de la CUMA de la plaine de Faverges
Y. FRANÇOIS

La place des agronomes et le besoin de compétences

P37 - Former pour et par le numérique tout au long de la vie professionnelle dans les métiers de l'agriculture
P. PRÉVOST et C. GERMAIN

P41 - Comment le numérique impacte le métier de conseil en agriculture
N. LACHIA, L. PICHON et B. TISSEYRE

P51 - L'enseignement agricole connecté
S. RICARD et F. SANCHEZ

Débats et controverses autour des apports de l'agriculture numérique

L'agriculture numérique est-elle la réponse aux grands défis du 21ème siècle ?
P59 - L'agriculture du 21ème siècle sera numérique ou ne sera pas
H. PILLAUD

P63 - Big Agri Bug dans l'agro-cloud ? Bulletin de prévisions climato-numériques
D. LANQUETUIT

Les technologies numériques libèrent-elles les agriculteurs ?

P71 - Technologies du numérique en agriculture : j'aurais voulu rêver
V. TARDIEU

P73 - Technologies numériques : l'exemple de la plateforme API-AGRO
T.P. HAEZEBROUCK

Notes de lecture

P77 - Agriculture de précision ; comprendre et mettre en œuvre les bases de la révolution agronomique, de G. Grenier
P. PRÉVOST

P81 - Donner du sens à l'intelligence artificielle : pour une stratégie nationale et européenne, de C. Villani
P. PRÉVOST et O. RÉCHAUCHÈRE

La revue de l'association française d'agronomie //volume 8 numéro 1 - juin 2018

Article

Agriculture numérique : quelles conséquences sur l'autonomie de la décision des agriculteurs ?

Digital Farming: Towards the end of farmers' decision-making autonomy?

Philippe JEANNEAUX*

**VetAgro Sup - UMR Territoires 127 - Clermont Université*
Courriel : philippe.jeanneaux@vetagro-sup.fr

Résumé

L'évolution de l'agriculture française entre 1980 et 2016 a été marquée par la poursuite des gains de productivité du travail permis par la forte substitution du capital au travail. Le processus de modernisation inclut de plus en plus les technologies de l'information. Une question se pose : quelles sont les conséquences de la révolution numérique sur les exploitations ? Pour répondre, nous analysons les données tirées de la littérature scientifique et professionnelle et d'enquêtes auprès d'experts. Ces évolutions interrogent le rapport des agriculteurs au travail en termes d'organisation, de conseil et d'autonomie de la décision. Ne serions-nous pas déjà entrés dans le deuxième âge des machines, celui des machines capables de prendre de décisions plus efficaces que les humains ?

Mots-clés

Agriculture, gouvernance, révolution numérique, prise de décision, données massives.

Abstract

For 40 years, to increase farm income per farmer, the major strategy has been to achieve labour productivity gains through massive investments in equipment and buildings. Cost competitiveness is not yet finished. The modernization process includes increased information technology. According to Brynjolfsson and McAfee (2014), we have entered the Second Machine Age with the digital revolution. Drones, robots, connected tools, algorithms, and artificial intelligence are now present on farms. Are we building a technological monster? One question is: what are the consequences of these changes concerning capital-intensive technology on farms and on the autonomy of farmers' decision? To answer, we have completed the analysis of data from literature surveys and experts. These developments call into question the relationship between farmers to work in organization, advice and decision-making autonomy. The results show Second Machine Age is at work. Our communication aims to discuss 2 possible consequences of this big change:
(1) Farmers may lose their decision-making because the machines know how to calculate and to learn, and are able to make better decisions than farmers.
(2)Because digital technologies are expensive and need new skills, the agro-equipment sector may take control of farms because engineers will process Big Data and thus control decisions.

Keywords

Agriculture; Governance; Digital revolution; Decision-making; Big data.

Introduction

On dénombrait en 1955, en France métropolitaine, 2,3 millions d'exploitations et 6,2 millions d'actifs, soit 31% des actifs totaux. Le recensement agricole de 2010 comptabilisait 490 000 exploitations agricoles (Graphagri, 2013), soit cinq fois moins que 55 ans plus tôt. En 60 ans, les agriculteurs ont doublé le volume de production agricole avec 6 fois moins d'actifs, même si la valeur de la production agricole au prix réel (corrigé de l'inflation) a baissé de près de 20% (Agreste, 2014). Ces gains de productivité ont été atteints grâce aux progrès technologiques sans précédent réalisés en agriculture. De manière générale, devant la baisse tendancielle des prix des biens agricoles, les agriculteurs ont dû ou choisi de développer une stratégie de compétitivité-coût qui a consisté à faire baisser les coûts de production moyens en produisant plus pour améliorer leur revenu et pérenniser leur exploitation. Pratiquement ils ont activé principalement trois leviers : (i) la spécialisation productive à l'échelle de l'exploitation et des filières qui agit par ailleurs comme un mécanisme de division des tâches, (ii) l'agrandissement, (iii) et la modernisation des structures de production. La concentration horizontale des exploitations agricoles a entrainé la disparition de 1,8 millions d'exploitations depuis 1955 (Gambino *et al.*, 2012) ! Depuis 1979, la production en volume a certes ralenti et particulièrement dans la décennie 2000 sous l'effet de la baisse des produits animaux, mais elle a tout de même crû de plus de 25 % entre 1979 et 2014 avec 2,8 millions d'ha de surface agricole utilisée en moins et trois fois moins de travailleurs ! Les gains de productivité ont été énormes. Ils s'inscrivent dans la mise en œuvre en agriculture du 1° âge de la machine, le temps où les machines ont permis à l'homme de décupler sa force physique. La substitution du capital au travail s'est poursuivie à un rythme intense. L'agriculture est la branche qui a connu les plus forts gains de productivité du travail depuis 35 ans comparativement aux autres branches de l'économie française. Pour produire plus en volume avec moins de travailleurs, les agriculteurs se sont dotés de moyens de production (matériels, bâtiments) plus importants par unité de travail. Au niveau de la branche agricole, la valeur de la formation brute du capital fixe (FBCF) en termes réels est restée quasiment stable en 30 ans (Indice 100 en 1980 et 110 en 2013). L'effort d'investissement annuel (mesuré ici avec la FBCF) favorisé sans doute par une fiscalité avantageuse est le même qu'en 1980 avec beaucoup moins de travailleurs. Chaque année, 10 milliards d'euros sont ainsi investis par les agriculteurs. En 2013, la FBCF a même atteint 12,57 milliards d'euros (hors foncier) dont 67% concernent le matériel agricole, 18% les bâtiments et moins de 10% pour les biens agricoles (bétail et cultures pérennes). Les équipements à haut contenu technologique sont en croissance[1]. C'est bien évidemment cette forte modernisation et la substitution du capital au travail qui a permis l'augmentation de la productivité apparente du travail (passage de l'indice 30 en 1980 à 110 en 2010) (Blonde *et al.*, 2014) et (Guihard et Lesdos, 2007). Mais cette révolution

[1] Par exemple, d'après Le Monde du 23 février 2018, entre 2013 et 2015, l'utilisation des applications professionnelles agricoles mobiles a bondi de 110 %

agricole est aussi à l'origine d'effets environnementaux, territoriaux et sanitaires négatifs. L'enjeu est celui de produire en s'appuyant sur les potentialités des agro-écosystèmes et en minimisant le recours aux intrants chimiques et aux énergies fossiles. Les exploitations agricoles ont ainsi à relever un enjeu fort, celui de leur contribution au développement durable, projet qui, d'une part, interroge les orientations et les choix stratégiques des agriculteurs, et d'autre part, oblige à repenser le pilotage de l'exploitation agricole (Capitaine et Jeanneaux, 2016) dans une société de plus en plus numérique (Isaac et Pouyat, 2015).

La substitution du capital au travail se poursuit mais désormais le capital incorpore de plus en plus de nouvelles technologies numériques comme on va le voir, notamment la robotisation et les technologies de l'information. Cette évolution de la nature du capital pose une double question : (1) que devient l'autonomie de la décision de l'agriculteur ? (2) quelles formes organisationnelles prennent ces évolutions capitalistiques et technologiques en agriculture ? Ces enjeux que soulève la révolution numérique nous semblent donc pertinents sachant qu'ils sont aussi mis à l'agenda politique comme l'atteste la création récente (1° avril 2017) de la délégation ministérielle pour développer le numérique et la donnée[2].

Notre objectif, dans cet article, est de caractériser les formes que prend la modernisation numérique des exploitations agricoles et d'identifier les perturbations qu'elle entraine. Cet exercice est difficile tant la réalisation d'un état des lieux est limitée du fait de l'absence de recensement sérieux des acquisitions des technologies numériques par les entreprises agricoles. Notre démarche est donc exploratoire et contient une dimension prospective sur certains aspects. Par conséquent, notre raisonnement est ordonné en trois sections. Une première section exposera le cadre méthodologique de cette recherche. Nous présenterons alors les formes que prend l'agriculture numérique. Nous exposerons ensuite les effets possibles de la montée en puissance de l'agriculture numérique sur la prise de décision et l'organisation des activités en agriculture. Nous conclurons enfin par quelques enseignements.

Un cadre méthodologique aux investigations variées

Notre approche méthodologique s'appuie sur deux types d'investigations.

Un premier travail a consisté à identifier les contours de l'agriculture numérique, que les anglo-saxons nomment de plus en plus souvent l'*AgTech,* à partir d'un recherche documentaire, tant en collectant des articles scientifiques, qu'en consultant la presse professionnelle française des 5 dernières années (2013 à 2017) en particulier (*France Agricole, T&I, Machinisme et réseau, Agriculture & Nouvelles Technologies, Entr'aid)* qui se font l'écho de la diffusion des technologies de l'information et de la communication, de la robotisation, de l'intelligence artificielle. Ce travail bibliographique nous a permis de recenser une multitude d'innovations et d'évaluer les taux d'adoption de ces technologies, recensement qui reste difficile et approximatif car aucune statistique n'a pour l'instant recensé la nature et l'ampleur du phénomène.

Le deuxième travail a consisté à repérer les conséquences de ces changements et à les faire discuter par une vingtaine d'experts de l'agriculture numérique du secteur agricole. Nous avons questionné des équipementiers, des chercheurs, des responsables de start-up numériques, des responsables agricoles… Six questions ouvertes ont été posées pour répondre à notre problématique (cf. supra) : (1) Avis sur les capacités de l'exploitation agricole familiale (capital humain, capital social, capital financier) à adopter les technologies du numérique; (2) Avis sur la forte substitution du capital (NTIC, robotique) au travail ; (3) Avis sur l'entrée de l'agriculture dans l'ère du numérique et de la robotisation ; (4) Avis sur l'évolution technologique qui interroge le rapport des agriculteurs au travail en termes d'organisation, d'éducation, de qualification et de responsabilité ; (5) Avis sur l'évolution des relations de collaboration entre des exploitations de plus en plus modernisées ; (6) Avis sur l'évolution du rôle du conseil dans le contexte de montée en puissance du numérique.

Nous avons par ailleurs mobilisé le cadre théorique particulier du processus de décision emprunté à Herbert Simon pour traiter nos données. En effet, les évolutions technologiques posent la question clé de l'origine de l'information, de son traitement et du processus de décision qui en découle. Elles semblent capables désormais de dépasser les capacités cognitives des agents économiques dans certaines situations. Nous n'ignorons pas les situations qui réclament des capacités adaptatives en situation d'incertitude et que les algorithmes ne résolvent pas. En effet selon Simon (1972 ; 1976), les agents économiques sont dotés d'une rationalité dite limitée et procédurale. Limitée car les agents économiques ne disposent pas d'une information complète sur le monde et ne peuvent donc pas imaginer le champ des possibles et l'ensemble des conséquences de leurs décisions. Procédurale car, parce qu'il serait trop long de passer en revue tous les choix possibles, les agents mettent en œuvre une procédure qui leur permettra de passer en revue quelques choix dans un temps défini et d'arrêter une décision à partir du moment où le coût de la recherche d'une solution meilleure est supérieure au bénéfice possible. La solution atteinte n'est pas optimale mais satisfaisante. Pour mieux comprendre comment les technologies de l'information peuvent changer la place des hommes dans les processus de décision, revenons sur les travaux initiaux d'Herbert Simon (1960). Il est l'auteur du modèle IDC (Intelligence, Design, Choice), en français, intelligence (investigation), modélisation (conception), choix (sélection). Simon décompose le processus en 3 étapes :

(1) L'intelligence correspond à l'étape de recueil des données concernant aussi bien sa situation propre que la situation de l'environnement. Les systèmes informatiques actuels ont et auront des capacités importantes de collecte de données massives. Ces données deviennent des informations à partir du moment où elles constituent un renseignement porté à la connaissance de l'acteur de la décision (Reix, 2004). C'est aussi la phase de confrontation entre le réel perçu et le réel voulu. Tout ce processus cognitif permet de formuler le problème décisionnel ;

(2) La modélisation correspond à l'étape de traitement de l'information. L'information peut être traitée soit par des algorithmes correspondant à la réalisation selon un répertoire

[2] http://agriculture.gouv.fr/une-delegation-ministerielle-pour-developper-le-numerique-et-la-donnee - consulté le 10/01/2018

fini d'actions élémentaires nommées, réalisables *a priori* et à durée limitée dans le temps, soit par une heuristique correspondant à une technique de résolution qui tient compte à chaque pas des résultats précédents et en déduit la stratégie à adopter par la suite. Il faut néanmoins rester prudent car l'automatisation du processus de gestion du raisonnement à partir des connaissances n'est pas évident comme en témoigne l'échec des systèmes experts dans les années 1980/1990 (Soulignac, 2012), même si on peut penser que d'énormes avancées ont été réalisées pour perfectionner ces approches depuis 20 ans. Cette étape permet de produire des connaissances qui correspondent à une information interprétée ayant du sens (Reix, 2004). La connaissance ainsi produite permet de prévoir l'état du système si on lui applique une action possible ;

(3) La troisième étape est celle de la sélection de la solution la meilleure, autrement dit la plus satisfaisante compte tenu des contraintes. La prise de décision correspond ici à la mise en œuvre, à l'action. Elle est suivie d'une phase de contrôle de la mise en œuvre de la décision et de correction qui renvoie aux étapes de collecte, de traitement et de prise de décision conduisant souvent le système à s'inscrire dans un processus circulaire, cumulatif et d'amélioration continue.

Nous verrons que cette grille nous permet de discuter ce que devient ce processus décisionnel quand les technologies de l'information pénètrent au cœur des systèmes d'exploitation agricole. Nous n'ignorons pas les approches qui ont été développées plus récemment comme par exemple les systèmes d'information interactif, flexible, adaptable et développé (SIAD) pour aider à la résolution d'un problème de décision en améliorant la prise de décision (Garlatti, 1996), mais nous ne les mobiliserons pas ici.

Résultats

Les nouveaux leviers de la compétitivité en agriculture : la montée en puissance de l'agriculture numérique

Retour sur le 1° âge des machines

La substitution du capital au travail qui s'est opérée depuis plus de cinquante ans en agriculture correspond au premier âge de la machine, l'âge de la machine qui décuple la force physique de l'homme. Ce premier âge des machines, que d'aucuns abordent sous les termes de révolution industrielle, de passage de la civilisation solaire à la civilisation minière, d'économie du pétrole, carbonée... (Brynjolfson et MacAffee, 2014 ; Morris, 2010 ; Rifkin, 2012) est l'âge où la puissance physique augmente grâce aux machines, mais l'homme reste le pilote du système. C'est la création de la machine à vapeur par James Watt en 1750 qui inaugura cet âge avant d'être confirmé par le moteur à explosion en 1850. Il est admis par les auteurs de l'histoire du progrès technique que le premier âge correspond à une forme de complémentarité entre l'homme et la machine, même si « *le progrès n'est plus dans l'homme, il est dans la technique, dans le perfectionnement des méthodes capables de permettre une utilisation chaque jour plus efficace du matériel humain* », comme le dit Georges Bernanos (1947). Selon Morris (2010), la machine à vapeur est la transformation la plus importante et la plus rapide de l'histoire du monde. C'est en effet la première machine à fournir de l'énergie mécanique extérieure contrôlable par l'homme. Avant, les machines, les moulins et autres roues à aubes, étaient soumises aux éléments, le vent, l'eau. Avec la machine à vapeur et par la suite le moteur à explosion ou à réaction, le travail mécanique n'est plus limité aux capacités locales et fluctuantes de l'énergie hydraulique ou éolienne. L'énergie vapeur est concentrée, régulée et mobile, et permet alors de surmonter les limites de la force musculaire de l'homme et de transformer des quantités gigantesques d'énergie fossile en travail mécanique.

Il s'ensuit une substitution extraordinaire du capital au travail qui va bouleverser l'économie en général, l'agriculture en particulier. Mais cette substitution des machines au travail humain prend désormais une forme nouvelle qui consiste à faire faire le travail intellectuel par des machines qui « deviendraient intelligentes », même si elles incorporent le travail intellectuel qui est fourni par des tiers qui sont de plus en plus éloignés de la situation de travail de l'agriculteur.

Vers le 2° âge des machines

Pour un certain nombre de penseurs de l'histoire des technologies, nous serions entrés dans le deuxième âge des machines (Brynjolfson et MacAffee, 2014) ou dans la 3° révolution industrielle (Rifkin, 2012) qui annoncerait une nouvelle période de croissance et de gains de productivité. Cette thèse va à l'encontre de celle de Robert Gordon (2000), pour qui le potentiel de développement supposé par les technologies de l'information ne permettrait pas une relance massive de la croissance. Il a défendu, au début de la décennie 2000, l'idée que les innovations n'allaient pas révolutionner l'économie. Les faits lui ont-ils donné raison ? En agriculture, au cours de la décennie 2000 en France, il est vrai que la croissance agricole a été faible, même si la productivité totale des facteurs a continué de croitre, à un rythme plus faible que lors de la décennie précédente. Mais peut-on déjà admettre la thèse de Gordon alors que vraisemblablement nous n'en sommes qu'à l'aube de la révolution numérique. On peut en effet penser que le deuxième âge des machines n'en est qu'à ses débuts, et qu'une révolution va traverser ce secteur comme les autres. Pour Brynjolfson et MacAffee (2014), la montée en puissance des technologies de l'information et de la communication, mais surtout le développement de l'intelligence artificielle correspondrait à la deuxième transformation la plus importante et la plus rapide de l'histoire du monde. Trois facteurs principaux appuient cette thèse.

Tout d'abord, les capacités de calcul des ordinateurs ont connu des progrès exceptionnels avec des algorithmes de calcul de plus en plus puissants. En mai 1997, c'est le maître Gary Kasparov qui était battu au jeu d'échecs par l'ordinateur Deep Blue, en 2011 c'est Watson, le superordinateur d'IBM (15 téraoctets de mémoire vive) qui remportait le jeu Jeopardy. En 2015, c'est Alphago de Google DeepMind qui a battu au jeu du Go, le maître Lee Se-dol. Derrière ces anecdotes, c'est le monde de l'intelligence artificielle qui s'installe, le monde des machines qui ne savent pas que calculer, mais qui désormais apprennent.

Ensuite, le deuxième facteur important concerne les quantités extraordinaires d'informations qui peuvent être numérisées, stockées et utilisées dans les programmes. Le nombre de transistors des microprocesseurs par puce a été multiplié par 1 million entre 1970 et 2015. Quant à la vitesse des superordinateurs (FLOPS), elle a été aussi multipliée par 1 million mais en seulement 25 ans (entre 1990 et 2015). C'est la loi de Moore qui est à l'œuvre dans le numérique, même si certains annoncent sa caducité (Waldrop, 2016). Cette loi considère

que les capacités numériques (vitesse, fréquence d'horloge, puissance…) doublent tous les 18 à 24 mois. Les capacités de stockage, de calcul et de vitesse de téléchargement sont en croissance exponentielle. Même le système métrique convoqué pour quantifier la masse des données devient incommensurable à l'esprit humain. Des mégaoctets (10^6octets), nous sommes passés aux gigaoctets (10^9octets) puis au teraoctets (10^{12}octets) et aujourd'hui aux yottaoctets (10^{24}octets), mais déjà sans doute cette échelle est dépassée. Cependant, il ne faut pas négliger les limites physiques de la miniaturisation des puces de silicium qui sont dans les machines et qui pourraient ralentir cette croissance fulgurante. Selon un article de *Nature*, les meilleurs processeurs ont aujourd'hui des composants de 14 nanomètres et pourraient atteindre d'ici quelques années, selon Paolo Gargini, 2 à 3 nanomètres. C'est la taille de dix atomes, et à cette échelle « *le comportement des électrons sera gouverné par des incertitudes quantiques* » et les transistors ne seront plus fiables (Waldrop, 2016).
Enfin, le troisième facteur de progrès concerne l'innovation par recombinaison. Comme la machine à vapeur, les technologies numériques sont des technologies à usages multiples (TUM) et leur combinaison originale crée de nouvelles fonctions. La voiture autonome électrique en est une bonne illustration. Elle combine la technologie du moteur électrique, des batteries composées de cellules au lithium-ion-fer-phosphate, des capteurs (Lidar, caméra, radar), de la géolocalisation et un ordinateur pour traiter les algorithmes. Toutes ces technologies existent. Ce sont les capacités extraordinaires de traitement de l'information et la mise en connexion de ces technologies qui produisent une technologie qui offre de nouvelles fonctionnalités, faire se déplacer un véhicule de manière autonome à 80 km/heure dans le trafic dense d'une autoroute américaine à 18h30 !

Quelles applications le numérique prend-il en agriculture ?

« *Oui, nous changeons de modèle agricole* » dixit Jean-Marc Bournigal s'exprimant dans Alim'agri (2016) consacré à la révolution numérique. L'agriculture numérique correspond, (i) d'une part, à l'agriculture connectée qui permet de mettre en réseaux et de multiplier les échanges entre systèmes d'information, et de créer de nouvelles formes organisationnelles et décisionnelles ; (ii) d'autre part, à l'agriculture de précision qui utilise des informations massives pour optimiser la performance des agroécosystèmes (Isaac et Pouyat, 2015). La robotisation est en train de pénétrer l'ensemble des activités agricoles. Plusieurs rapports (Bournigal, 2014 ; Bournigal *et al.*, 2015) et ouvrages (Pillaud, 2015 ; Isaac et Pouyat, 2015) ont été diffusés récemment pour donner à voir la diversité des applications des technologies de l'information, de la communication, de la robotique en agriculture. Pas une revue professionnelle n'omet hebdomadairement de présenter des innovations technologiques et informatiques (drones pour contrôler le stress hydrique d'une culture, robots terrestres pour assurer l'application de produits phytosanitaires ou pour réduire la pénibilité physique de certaines tâches…) (Grenier[3], 2016). On dénombrait en France, selon l'Idele (2014) 3800 exploitations laitières équipées par 4900 automates de traite, soit 5.5% des exploitations. Rappelons qu'un premier prototype avait été présenté au SIMA en 1989, que 5 élevages étaient équipés en 1998, 450 en 2006. Les robots d'alimentation arrivent sur le marché. Selon Lecocq (2015), il existerait environ 400 robots d'alimentation qui permettent comme c'est indiqué dans le numéro 3687 de la revue *La France agricole* de mars 2017 de gérer par exemple 7 rations pour un troupeau de 120 vaches allaitantes. La robotisation se répand pour réduire les travaux d'astreinte mais aussi les tâches pénibles. La société Naio commercialise des robots de désherbage mécanique alors que la société Effidence propose des robots « baudets » qui permettent de déplacer des charges en suivant par exemple un groupe de vendangeurs dans les rangs de vigne. En 2016, le tractoriste Case IH a présenté son tracteur autonome Magnum. Ce tracteur autonome est capable de se repérer dans l'espace, de réaliser des taches programmées, par exemple déchaumer une parcelle seul. Il peut être aussi asservi à un autre engin comme la moissonneuse batteuse qui est en action et sous le contrôle d'un seul chauffeur. Ce qui a le plus choqué ce n'est pas temps le concept de tracteur autonome que l'absence de cabine de conduite de ce prototype. On voit aussi se répandre des robots bergers capables de suivre et d'orienter les déplacements d'un troupeau dans un espace libre[4]. La robotisation est en plein essor. Selon Isaac et Pouyat (2015), 74 milliards de Dollars seront investis sur la planète dans la robotique en 2024 contre 3 milliards de $ en 2015, et surtout, 50% le seront en agriculture.
D'autres applications se développent, notamment pour piloter plus finement les pratiques de production. L'agriculteur est « augmenté » grâce à des assistants personnels intelligents. Par exemple, le pilotage de l'irrigation est optimisé pour améliorer son efficacité, grâce à des sondes piézométriques connectées, dont la production de données est complétée par celles issues des caméras thermiques qui équipent des drones multi-rotors, données qui permettront de réaliser des cartes de stress hydrique. Ce dispositif qui reste expérimental devrait permettre très prochainement d'irriguer avec précision avec des enrouleurs programmés. Dans d'autres situations, la géolocalisation permet de gérer les coupures de tronçon pour optimiser les trajectoires des machines en fonction de la géométrie de la parcelle. Le logiciel dédié proposé par la société Class permettrait d'après le constructeur de réduire le temps nécessaire de couverture du champ de 6%. La société John Deere propose un dispositif qui permet par exemple de synchroniser en temps réel les remorques et l'ensileuse pour optimiser le débit du chantier. Les applications qui permettent les réglages automatiques sont innombrables : calibrage automatique du semoir, réglage de l'arracheuse de pomme de terre avec le tubercule électronique, adaptation du lestage et de la pression des pneumatiques en fonction des conditions de portance des sols, traçabilité des bidons de produits phytosanitaire par l'utilisation d'une puce RFID, détection des chaleurs et des vêlages des vaches, traçabilité des lots de grains de blés par balise de collecte et de transfert d'information[5]. Ces nouvelles technologies visent dans leur grande majorité à optimiser le temps de travail, la réduction des coûts, la maximisation du rendement ce qui ne correspond pas toujours au comportement de recherche d'une situation satisfaisante et pas forcément optimale pour

[3] Cf le texte de P. Grenier dans ce numéro de la revue, ainsi que la note de lecture sur son ouvrage « L'agriculture de précision ; comprendre et mettre en œuvre les bases de la révolution agronomique ».

[4] http://www.lefigaro.fr/secteur/high-tech/2016/05/30/32001-20160530ARTFIG00083-en-australie-des-troupeaux-de-vaches-vont-etre-gardes-par-des-robots.php

[5] La France Agricole, 2016, Agriculture connectée – Toutes les clés pour vous lancer, 26/02/2016, supplément n°3631

l'agriculteur. L'optimisation deviendrait-elle sous l'effet des technologies numériques la norme ? Néanmoins, l'agriculture de précision en fournissant de nouvelles connaissances aux agriculteurs pour piloter plus finement les productions n'est pas qu'un levier pour rendre plus efficient les systèmes de production agricole conventionnels. A l'instar de l'agriculture conventionnelle de précision, se développe une voie prometteuse pour la mise en œuvre de l'agro-écologie de précision. L'apport de l'agriculture numérique permettra, grâce à la production d'informations et de connaissances jusque-là inaccessibles, de développer des systèmes plus ecoéfficients en s'appuyant sur une utilisation optimale des ressources et des mécanismes naturels des agroécosystèmes.

Les agriculteurs semblent de plus en plus insérés dans le monde de l'agriculture technologique (AgTech). D'après une enquête de l'IPSOS de 2016[6], les agriculteurs des régions céréalières françaises sont très connectés. 7 sur 10 utilisent un système de guidage par GPS et 4 sur 10 des outils numériques d'aide à la décision, technologies de l'information qui d'ailleurs peuvent être quasiment imposées par la mise en œuvre de la politique agricole commune. Côté éleveurs, 4 sur 10 utiliseraient un système de gestion de leur troupeau et 2 sur 10 des capteurs connectés pour leurs animaux. L'enquête « Agrinautes Agrisurfeurs » 2014[7] réalisée par BVA Ticagri indiquait que les agriculteurs en grandes cultures étaient équipés à 47% de Smartphone et à 32% de tablettes, certainement pour utiliser les 400 applications agricoles recensées. Airinov, un des leaders de la commercialisation des drones en France estime qu'en 2018, 1000 drones seront utilisés par 30 000 agriculteurs. Une société comme Isagri, spécialiste de l'informatique agricole comptait en 2016 plus de 150 000 clients. L'agriculture numérique est devenue incontournable.

Agriculture numérique et processus de décision

Les technologies de pointe traversent de plus en plus d'exploitations agricoles pour interférer avec le processus de décision. Les trois étapes du processus de décision (cf. supra) sont concernées. Elles l'étaient déjà mais sont confrontées à de nouveaux enjeux :

- L'étape de collecte des données plus larges est très largement revisitée. La collecte de nouvelles données est permise par l'arrivée de nouveaux outils de collecte de la donnée : mesure de température par caméra infra-rouge thermique, détection de la topographie sous couvert végétal avec très grande précision par laser à haute fréquence (Lidar), capteur multi-spectral permettant de mesurer la biomasse, le taux de chlorophylle ou la hauteur des végétaux. On peut ajouter, l'imagerie satellitale, les stations météos et les sondes qui permettent de mesurer l'hygrométrie, la température, ou encore la géolocalisation… La collecte est réalisée par drone, par satellite, ou simplement par les matériels et autres installations de l'exploitation (tracteurs, moissonneuse, robot de traite…), ou encore par les animaux eux-mêmes (colliers électroniques, puces sous cutanées, puces ingérées…). Les agriculteurs sont devenus avec ces technologies des producteurs de données massives. Ces données, spatiales comme non spatiales, concernent aussi bien les composants du contexte de l'exploitation (sol, air, eau, parcellaire) que l'état des animaux et des végétaux. Elles sont produites le plus souvent en continue et stockées hors de l'exploitation parfois sans que les agriculteurs en maitrisent toute la production.
- L'étape du traitement trouve une nouvelle dimension avec les « *big data* » agricoles qui deviennent la nouvelle ressource stratégique de l'agriculture que certains (Bournigal, 2014) considèrent guidée par la donnée (*data-driven farming).* Les données sélectionnées et portées à la connaissance de l'agriculteur deviennent des informations qui font alors l'objet de traitements informatiques divers et plus ou moins complexes. La connaissance des limites de la parcelle permet la mise en œuvre d'applications fonctionnelles répondant aux traitements de tâches répétitives (Reix, 2004) comme la coupure de tronçon. La connaissance de la localisation du débit de la trémie de la moissonneuse-batteuse lors de la récolte permettra de construire des cartes de rendement précises. Cette connaissance pourra par la suite être intégrée dans des algorithmes ou des heuristiques puissantes permettant, lors de la campagne suivante, au moment des interventions de semis, ou d'épandage d'engrais, d'appliquer spécifiquement à un endroit de la parcelle l'intrant à utiliser ou la densité de semis, dans une logique d'agriculture de précision. Selon la typologie de Reix (2004), il s'agit, dans ce cadre, d'applications d'aide à la décision et d'aide à la gestion des connaissances. Au sein de cette dernière, comme l'a mis en évidence Souligngac (2012), la gestion patrimoniale des connaissances est un enjeu stratégique pour le pilotage des agroécosystèmes qui doivent améliorer leur viabilité et leur contribution au développement durable, et à ce titre les systèmes informatiques de capitalisation des connaissances joueront un rôle clé pour préserver, stocker, actualiser et remobiliser les connaissances pour produire des innovations agronomiques attendues. Le partage des données et/ou des connaissances de plusieurs exploitations rendu possible par les plateformes de mutualisation de données du nuage *(Open Data)*, permet de produire des données à l'échelle du bassin versant ou du bassin de production utiles pour mieux détecter certains processus de pullulation de ravageurs ou de dynamique de sécheresse. Il s'agit selon la typologie de Reix (2004) des applications d'aide à la communication. Ces innovations technologiques et le partage des données au sein de l'exploitation et/ou entre agriculteurs et autres parties-prenantes (conseillers, vendeurs d'agroéquipement) a débouché sur des standards de connectique pour harmoniser la communication entre les logiciels et les outils. Le langage informatique commun IsoXML, comme le déploiement de la norme Isobus, sont en train de s'imposer et facilite l'interopérabilité, c'est-à-dire l'échange de données entre les machines et les logiciels de différents constructeurs par exemple.
- Enfin, l'étape de sélection de la meilleure solution et de sa mise en œuvre n'échappe pas à l'immixtion des technologies numériques chez les agriculteurs. L'agriculteur aidé par les outils d'aide à la décision dispose de nouveaux indicateurs jusque-là inaccessibles, dû à ses capacités de traitement et d'entendement limitées des informations. Dans de nombreux cas, sa décision est désormais assistée, corrigée par les machines (et peut-être moins par les conseillers) sans qu'il en soit toujours complètement le maitre. En effet, les vecteurs des actions sont les machines elles-mêmes. Les tracteurs, les outils et les robots agissent dans certaines situations de

[6] http://www.ipsos.fr/comprendre-et-maitriser-son-marche/2016-09-08-l-innovation-est-deja-dans-pre

[7] https://www.slideshare.net/GENTILLEAU/agrinautes-agrisurfeurs-space-2014

manière de plus en plus autonomes en phase, avec la montée en puissance de l'intelligence artificielle.

Quelles sont les conséquences majeures du numérique sur l'agriculture ?

Des changements qui interrogent l'autonomie de la décision

Les tâches substituées sont de plus en plus des actions cognitives et reposent la question de l'autonomie des décisions, question qui traverse depuis longtemps le secteur agricole, mais qui est réinterrogée au regard de la montée des technologies numériques de l'information. Les algorithmes conçus par les « data scientist » permettent de déléguer aux machines le contrôle et la régulation des tâches. Ces évolutions récentes dans d'autres secteurs de l'économie et de la société interrogent les parties prenantes sur l'exercice du pouvoir, de la responsabilité et de l'éthique. Jusqu'où laisser faire la machine ? Jusqu'où faire confiance à la machine ? Quelles règles de décision retenir dans les situations extrêmes qui pourraient conduire à des mises en jeu d'intérêts auxquels l'intelligence humaine n'a pas eu encore à être confrontée[8] ? Les machines ne tendraient-elles pas vers la création d'une méta-intelligence ou au moins un monde technologique parallèle qui tendrait à s'autonomiser et qui finirait par placer l'homme dans un rôle secondaire, thèse défendue par Brynjolfsson et MacAfee (2014) ? Cette vision n'est pas qu'une fiction. Elle est partagée par de nombreux auteurs parmi lesquels Yuval Harari dont l'ouvrage « Homo Deus » paru en 2017 défend la thèse selon laquelle au départ l'Homme soumis aux aléas de la nature aurait inventé les dieux pour expliquer ce qui se produisait. Ensuite il a maîtrisé la nature et inventé la nouvelle religion de l'Homme humaniste. Avec la phase actuelle, il a créé des machines plus puissantes en s'en remettant à la religion des données et est presque devenu lui-même un dieu. Dans une lettre ouverte[9], de 2015, 1500 chercheurs ont appelé à travailler à une orientation éthique des travaux sur l'intelligence artificielle et à repenser la place des robots intelligents dans la société. Depuis 2014, des scientifiques renommés internationalement comme Stephen Hawking[10] ou des hommes d'affaires comme Bill Gates[11] ou Elon Musk[12] voient avec la montée en puissance des technologies numériques un danger pour l'Homme. Nous aurions atteint le point de singularité, celui du point critique de basculement irréversible vers un monde où l'Homme serait dépassé par les machines intelligentes. Ce mythe est dénoncé par Ganascia (2017) qui considère que les machines n'ont pas d'autonomie propre et que l'Homme ne sera pas remplacé par les machines. Pour Ganascia, nous serions face à une autonomie technique et nous devrions parler d'hétéronomie au sens où les machines mettraient en œuvre des chaines de causalité matérielle sans l'intervention de l'homme, mais dont les finalités restent sous le contrôle de l'homme. L'autonomie philosophique qui considère que les machines auraient la capacité à se donner leurs propres règles et leurs propres finalités de comportement en dehors de tout contrôle par les hommes ne serait pas d'actualité. Cette argumentation est reprise par d'autres chercheurs américains, comme le psychologue Steven Pinker[13]. Toutefois, Cathy O'Neil, mathématicienne à Harvard puis au MIT dans son livre paru en 2016 montre que de plus en plus, les décisions qui organisent la société ne sont pas faites par des humains, mais par des modèles mathématiques. En théorie, ces modèles devraient conduire à une plus grande équité. Or selon Cathy O'Neil, le contraire est vrai. Les modèles mathématiques utilisés sont opaques, non réglementés et incontestables, même s'ils sont faux et plus inquiétant, pourraient renforcer la discrimination. Elle appelle les modélisateurs à prendre davantage la responsabilité de leurs algorithmes et aux décideurs à réglementer leur utilisation.

Le risque de la prise de contrôle des systèmes informatiques experts devient une réalité sans que leurs promoteurs saisissent suffisamment les risques encourus comme on le voit en agriculture. Dans un des récents numéros de la revue « Chambres d'agriculture » (Hamiti et Siméon, 2014, p. 23), un article était consacré à l'achat d'un drone par une chambre départementale d'agriculture au service des agriculteurs. Un des responsables agricoles montre, dans l'article, que nous serions entrés dans l'ère des machines qui se substituent à l'homme. Il dit : « *La prise en main de cet appareil s'est déroulée sur les 3000 ha d'une ferme expérimentale répartis sur trois bassins de captage. La deuxième étape consistait à récolter les données et savoir en traiter les informations pour les restituer aux agriculteurs de manière à ce qu'ils puissent les utiliser facilement. L'objectif à terme est de transmettre directement les références obtenues aux outils informatiques embarqués du tracteur pour que la fertilisation ou les traitements fongicides et herbicides se programment d'eux-mêmes à la bonne dose et au bon endroit et à l'échelle de la micro-parcelle*[14]*_(…)* ». Que devient l'autonomie de la décision technique dans ce contexte ? Le processus de décision en jeu correspond à l'hétéronomie, avec des machines qui mettraient en œuvre des chaines de causalité matérielle qui viseraient à optimiser les pratiques : consommer la quantité minimum et nécessaire d'intrants pour limiter les gaspillages et baisser les coûts. Cet objectif est louable, mais la seule recherche de l'optimisation ne conduit-elle pas à enfermer les systèmes de production dans des logiques qui empêchent les ruptures qui permettent d'innover et d'inventer de nouvelles formes de production ? Certains experts enquêtés soulignent par ailleurs le risque de produire des outils d'aide à la décision qui ne prennent pas suffisamment en compte la diversité des systèmes de production, des filières, des marchés. Les outils d'aide à la décision pourraient s'avérer insuffisamment souples pour prendre en compte l'hétérogénéité des situations. Mais par ailleurs, d'autres interlocuteurs ont insisté sur les possibilités offertes par l'agriculture numérique pour développer la créativité des agriculteurs et/ou favoriser l'adoption d'innovations permettant la transition vers des systèmes productifs plus durables.

Des changements qui interrogent le conseil aux agriculteurs

Par ailleurs, c'est le contexte de la prise de décision qui est désormais remis en cause. De savoirs empiriques transmis

[8] On pense ici au cas de la voiture autonome qui devra dans certaines situations sacrifier ses passagers au profit d'un autre véhicule

[9] https://futureoflife.org/ai-open-letter

[10] http://time.com/3614349/artificial-intelligence-singularity-stephen-hawking-elon-musk/

[11] https://www.washingtonpost.com/news/the-switch/wp/2015/01/28/bill-gates-on-dangers-of-artificial-intelligence-dont-understand-why-some-people-are-not-concerned/?utm_term=.811f78831bf9

[12] https://www.theguardian.com/technology/2014/oct/27/elon-musk-artificial-intelligence-ai-biggest-existential-threat

[13] https://www.cnbc.com/2018/02/27/harvard-psychologist-steven-pinker-on-artificial-intelligence.html

[14] Souligné par nous.

entre anciens et jeunes chez les paysans, nous sommes passés à une connaissance diffusée par la « technostructure » de recherche-développement agricole. Le savoir venait de la science et s'appliquait dans les exploitations par le modèle diffusionniste (Lémery, 2006) et via les conseillers agricoles, vulgarisateurs du progrès technique généralement prescripteurs de solutions souvent normatives. Par la suite, les interactions entre agriculteurs et conseillers ont permis la coproduction d'un conseil agricole qui a augmenté sa pertinence (Lémery, 2006 ; Cerf et Maxime, 2006). Avec le numérique, c'est tout le modèle du conseil qui est remis en cause. Par exemple, que devient le contrôleur laitier dans un monde de robot de traite, de robot d'alimentation, de capteurs nombreux qui permettent l'ajustement en continu de l'alimentation de la vache laitière pour améliorer sa productivité et son efficience ? Le conseil technique n'est sans doute pas condamné mais prend des formes nouvelles. En effet, nous avons vu, dans la littérature, monter en puissance de nouveaux modèles de conseil à l'œuvre. Il est difficile d'imaginer précisément comment les systèmes d'information et de conseil (SIC) peuvent évoluer sous l'effet du numérique et quelle est leur capacité à intégrer la créativité des utilisateurs dans la conception de ces outils (Cerf et Meynard, 2006). D'un côté, se créent des plateformes collaboratives où s'échangent des expériences entre pairs à l'instar de Farmer Business Network (FNB) qui rassemblait en 2014 les données concernant les pratiques de production sur 17 millions d'hectares de 17 Etats de USA. La plateforme fournit des références sur les performances de variétés en fonction des facteurs agronomiques et météorologiques, références construites par le traitement des données fournies en continue par les agriculteurs. Les agriculteurs partagent aussi sur la plateforme les prix de ventes des denrées agricoles ou le prix des intrants. D'un autre côté, ce sont des entreprises privées qui proposent aux agriculteurs d'un bassin de production de mettre en relation leurs données individuelles anonymées pour intégrer des enjeux qui dépassent l'échelle spatiale de l'exploitation (gestion de l'irrigation ou de contrôle des ravageurs par exemple, ajustement local de l'assurance récolte…). Cette nouvelle forme de conseil est développée par des sociétés comme Climate Corporation (racheté par Monsanto pour 1 milliard de Dollars en 2013). Les données massives sont traitées par des algorithmes puissants qui permettront de proposer ensuite des prescriptions individuelles aux agriculteurs qui pourront même aller jusqu'à l'exécution des pratiques par leurs équipements connectés. Là aussi que devient l'autonomie de la décision quand celle-ci résulte des compétences des informaticiens des sociétés de l'agroéquipement qui programment les algorithmes. L'adoption des technologies de l'information et de la communication est complexe et coûteuse. Elles exigent donc de la part des agriculteurs des compétences et des capitaux. Les agro-équipementiers dotés des compétences pour produire les algorithmes pourraient intégrer les exploitations agricoles sans que cet objectif soit explicitement voulu, mais devienne implicitement une réalité. Le pilotage de l'exploitation ne risque-t-il pas de passer aux mains des data scientists ?

Des changements qui interrogent l'organisation des structures de production

Enfin, la révolution numérique pourrait avoir des effets sur les structures de production. Une première mutation organisationnelle émerge avec l'arrivée massive des technologies dans les fermes. En effet, les coûts importants des matériels, des installations et des aménagements dont le contenu technologique augmente, incitent les agriculteurs à repenser la façon de pouvoir en disposer. Afin « d'écraser » les charges fixes, des agriculteurs s'organisent collectivement et réalisent des innovations organisationnelles pour réaliser des économies d'échelle et réduire les coûts moyens de mécanisation. Pour ce faire, ils partagent leurs assolements et rassemblent dans certains cas plusieurs centaines, voire même plusieurs milliers d'hectares. Ils créent des sociétés pour partager des matériels (CUMA) ou des activités et des bâtiments (Société laitière) pour absorber le coût important d'installation de traite (robot de traite et d'alimentation…) et de bâtiments par exemple. Ces formes collaboratives permettent également de mutualiser les compétences des agriculteurs nécessaires à l'utilisation des nouvelles technologies. Nous voyons désormais se développer un type d'exploitation agricole dite flexible (Séronie et Boullet, 2007). Il s'agit d'exploitations technologiques et collaboratives qui déplacent la question de l'autonomie décisionnelle. Elles sont multidimensionnelles, multi-partenariales et multi-contractuelles, caractéristiques qui entrainent forcément des changements en termes de pilotage de plusieurs exploitations agricoles en réseau. Ce type d'organisation n'est pas sans interroger la façon dont la performance de l'exploitation collaborative est évaluée. Il n'est pas facile d'établir la comptabilité consolidée de 7 ou 8 exploitations, comme il est difficile de prendre des décisions collectives partagées. Il devient compliqué, parfois, de savoir qui et comment sont pilotées ces formes sociétaires multidimensionnelles, multi-partenariales et multi-contractuelles. Ces mutations vers des exploitations agricoles en réseau ou imbriquées entrainent des changements en termes de pilotage, de définition ou de mesure des indicateurs de performance et de prise de décision.

Une version dérivée de l'exploitation collaborative est en train de voir le jour via la mise en relation d'agriculteurs par des plateformes collaboratives avec l'aide d'Internet. La société Wefarmup propose un service dit de CoFarming (réflexion, travail et investissements en commun) pour permettre aux agriculteurs de mutualiser leurs investissements. Les promoteurs de la plateforme proposent de mettre en relation les agriculteurs pour un intérêt réciproque. D'un côté, un agriculteur qui peut louer à un de ses voisins un matériel adapté, disponible et accessible, de l'autre, un agriculteur qui obtiendra une compensation monétaire issue de la location de son matériel. D'autres comme la startup Linkinfarm vont même jusqu'à proposer aux entreprises de travaux agricoles un service complet de gestion des parcelles à exploiter (géoréférencement), de facturation et d'accès à une base de clients agriculteurs qui adhèrent à la plateforme. Ces plateformes participent à la mutation de l'agriculture vers une forme de tertiarisation avec des agriculteurs qui ne gardent *in fine* que le contrôle du foncier et font réaliser l'ensemble des actes de production par des tiers. Des plateformes d'échange de main d'œuvre et de compétences sont également en train d'émerger. Ces prestations sont censées rationaliser les moyens de production et améliorer la compétitivité des exploitations.

Nous observons aussi l'émergence de sociétés de service de robotique ou de collecte de données par drone. Elles proposent par exemple à l'agriculteur un service d'entretien de parcelles par tonte ou un service de désherbage. Un prestataire, « le berger » se déplace sur les parcelles de l'agriculteur et lâche le « troupeau de robots » (4 à 8) qui va réaliser le service. L'agriculteur n'a pas à acquérir les matériels et les compétences nécessaires pour la mise en œuvre de ces technologies. Il devient un logisticien qui gère les interventions de prestataires. Le contenu du métier d'agriculteur est en pleine mutation.

Enfin, le changement organisationnel majeur risque de venir du monde de l'agroéquipement qui pourrait devenir le maillon incontournable du pilotage des exploitations agricoles. Les entreprises de l'agroéquipement sont désormais au centre de la chaîne d'acquisition, de mutualisation, d'intégration et de valorisation des données pour produire des connaissances stratégiques. Le débat s'est pour l'instant focalisé sur la propriété des données. Les données sont devenues des actifs stratégiques au cœur de convoitises car leur privatisation permettra leur marchandisation même si le règlement général sur la protection des données n° 2016/679, (RGPD) mis en œuvre en mai 2018 renforce et unifie la protection des données pour les individus, et est censé limiter les dérives possibles de l'usage des données individuelles des agriculteurs. La mission Bournigal « *AgGate – Portail de données pour l'innovation en agriculture (2016)* » a proposé une démarche opérationnelle pour relever ces enjeux. Ayant la capacité à récupérer des données massives, à les mutualiser, à mettre en relation les machines via des standards comme l'Isobus et à proposer des algorithmes, les entreprises de l'agroéquipement pourraient intégrer petit à petit verticalement les exploitations agricoles. La société Kuhn a, par exemple, mis au point Agrirouter, une plateforme ouverte et multi-constructeurs dédiée à l'échange de données. L'agriculteur pourrait devenir un simple opérateur sous contrôle des informaticiens et/ou des programmeurs-codeurs qui, parce qu'ils maitriseront le traitement des données, prendront le contrôle de la décision et de fait de l'exploitation sans que cette volonté soit explicitement énoncée et voulue par les agro-équipementiers.

La même logique d'intégration verticale pourrait venir du monde de la grande distribution qui, pour assurer la traçabilité des produits, mettent en place des dispositifs de moissonnage des données tout au long de la chaine de transformation ou en cherchant à sécuriser les échanges entre chaque maillon de la filière en utilisant la technologie BlockChain à l'instar de l'expérience de la filière Qualité Carrefour qui recourt à cette technologie pour garantir la traçabilité des poulets fermiers Label rouge produits en Auvergne que ce distributeur vend dans ses magasins (Schretr, 2018). Le distributeur pourrait alors exiger, avec encore plus de vigueur, car il accède à des informations nouvelles, des changements de pratiques des agriculteurs pour ajuster la qualité ou la quantité à produire et ajuster l'offre à la demande finale. Ces nouvelles formes organisationnelles pourraient, elles aussi, affaiblir l'autonomie de la décision des agriculteurs, même si on peut aussi voir l'effet positif de la traçabilité numérique qui peut permettre aux agriculteurs de se différencier mieux en garantissant des pratiques qui améliorent la qualité des biens produits pour *in fine* obtenir un retour de valeur ajoutée.

Discussion/Conclusion

Pour produire, une grande majorité d'agriculteurs a substitué du capital au travail avec pour conséquence de faire entrer l'exploitation dans l'ère de l'agriculture hyper-capitalistique et numérique, l'ère où désormais les drones côtoient les robots de traite, où la moissonneuse batteuse connectée au satellite avec ses 12 mètres de largeur de coupe rivalise avec le pilotage informatique et à distance de la porcherie. Comme nous venons de le présenter, l'agriculture numérique est une révolution de la collecte et du traitement de l'information. L'information devient un actif stratégique dont le contrôle pourrait échapper à l'agriculteur et conduire à une fragilisation de l'autonomie de la prise de décision.

Par ailleurs, ces évolutions interrogent le rapport des agriculteurs à leur métier en termes d'organisation, d'éducation, de qualification, de responsabilité et de relation aux autres agriculteurs et aux autres acteurs de l'économie. Trois types majeurs d'exploitations pourraient émerger de ces changements en fonction de leurs dotations en compétences et de leurs capacités financières. Une première forme correspondant à des entreprises agricoles à base salariale, de grande taille et bien dotées en capitaux financiers, capables d'acquérir et de piloter les technologies numériques et la robotique. Une deuxième forme correspondant à l'exploitation collaborative que nous avons présentée, forme qui permet de mutualiser les moyens de plusieurs exploitations. Un troisième type correspondant à l'exploitation agricole peu dotée en compétences et en capitaux et qui serait « dominée » par les acteurs de l'amont du secteur agricole (agro-équipementiers, data scientists et data managers). En effet, ce qui est moins perçu peut-être, c'est le changement qui s'opère du côté de l'amont du secteur avec les innovations technologiques qui se développent dans le monde de l'agroéquipement. Les marchands de machines ont jusqu'à présent été considérés comme des fournisseurs d'équipements où la concurrence restait féroce et où le rapport de force avec les agriculteurs paraissait plutôt équilibré. Cette relation est en train de changer parce que le secteur de l'agroéquipement ne fournit plus seulement la machine qui décuple les forces et les gains de productivité du travail. Il fournit désormais des outils qui se substituent à la prise de décision. Autrement dit, ne risque-t-on pas de passer de la fourniture d'outils d'aide à la décision à la fourniture de la décision elle-même ? D'un autre côté, selon un point de vue plus optimiste, l'agriculture numérique peut aussi être considérée comme un levier essentiel pour accompagner la transition de toutes les agricultures vers une agriculture respectueuse de l'environnement et des ressources naturelles. En effet, la production, le traitement et la gestion des données originales et massives pourraient favoriser la diversification des cultures, des rotations, des activités, l'autonomie en intrants, la valorisation des ressources spécifiques territoriales et l'économie circulaire.

Les exploitants agricoles viennent de pénétrer dans l'ère du deuxième âge des machines, le temps selon Brynjolfsson et Macafee, (2014) d'un monde où les machines intelligentes sont conçues pour prendre de meilleures décisions que l'Homme. Il nous semble que si le numérique a modernisé dans un premier temps l'aide à la décision et ses outils, l'étape qui arrive est celle de l'automatisation possible de la prise de décision par les machines. C'est ce glissement que nous

voulons mettre au débat. Les agriculteurs peuvent-ils échapper à ces évolutions ?
La promesse de lendemain meilleur pour les agriculteurs, d'une société globale qui n'a plus faim et qui n'a pas à consacrer l'essentiel de son temps à produire son alimentation a été atteinte. Ce projet a entrainé la réalisation de gains de productivité en substituant du capital au travail. Nous en arrivons désormais à une phase suivante où l'héritage des Lumières, le libre arbitre, l'individu autonome, rationnel, l'avènement du sujet pensant et responsable va être remplacé par l'intelligence artificielle et hypertechnologique. Le sens de notre propos n'est pas de rejeter ce monde, il vise à prendre conscience que nous avons un besoin impératif de débat critique sur l'agriculture numérique et ses conséquences sur l'autonomie de la décision, l'organisation des activités et le conseil et comme le dit François Jarrige (2016) « *parce que les techniques sont le produit d'une société et d'une époque, elles posent question* ».

Bibliographie

Agreste, 2014, Memento Statistique Agricole France, Edition 2014, MAAF, Service de la statistique et de la prospective, Paris.

Amil'agri, 2016, La révolution numérique, pp.8-66, magazine du Ministère de l'agriculture de l'agroalimentaire et de la forêt, numéro 1565 - octobre à décembre 2016, Paris.

Bernanos G., 1947. La France contre les robots, Robert Lafont, Paris.

Blonde M.-H., Lesdos C., Bernaudeau A., 2014. L'agriculture en 2013 - Rapport sur les comptes, In : Commission des comptes de l'Agriculture de la Nation (CCAN) - Paris, Session du 1er juillet 2014, INSEE, Direction des Statistiques d'Entreprises (DSE), Division Industrie - Agriculture, 95 p.

Bournigal J-M., 2014. Définir ensemble le futur du secteur des agroéquipements, Rapport de la mission Agroéquipements - Irstea, Octobre 2014, 150 p.

Bournigal J-M., 2016, AgGate - Portail de données pour l'innovation en agriculture, Mission Jean-Marc Bournigal, Irstea, octobre 2016, 138 p.

Bournigal J-M., Houllier F., Lecouvrey P., Pringuet P., Agricultureinnovation2025 - 30 projets pour une agriculture compétitive et respectueuse de l'environnement, agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/rapport-agriculture-innovation2025.pdf.

Brynjolfsson E., Macafee A., 2014. The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies, W. W. Norton & Company, New York City.

Capitaine M., Jeanneaux P. 2016. Agriculture en Mouvement - Innovations stratégiques et performance globale. Dijon : Educagri Editions, Collection Chemins Durables.

Cerf M., Meynard J-M., 2006. "Les outils de pilotage des cultures : diversité de leurs usages et enseignements pour leur conception " Natures Sciences Sociétés, n° 14, pp 19-29.

Gambino M., Laisney C., Vert J., 2012. Le monde agricole en tendances - Un portrait social prospectif des agriculteurs, Centre d'études et de prospective, SSP, Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire - La Documentation française, Paris.

Ganascia, J-G., 2017, Le Mythe de la singularité- Faut-il craindre l'intelligence artificielle ? Seuil, Paris.

Garlatti. S, (1996), "Tutorial: Multimédia et systèmes d'aide à la décision en situation complexe", in 43th meeting of the european working group "Multicriteria Aid for Decisions", Brest.

Gordon, R. J. (2000). Does the "New Economy" Measure Up to the Great Inventions of the Past? (Digest Summary). Journal of economic perspectives, 14(4), pp.49-74.

Graphagri, 2013. L'agriculture, la forêt et les industries agroalimentaires - Edition 2013, Agreste, Castanet Tolosan.

Grenier G., 2016, Technologies de l'information et de la communication - Vers une agriculture pilotée par les données, Le Demeter 2016, 22° édition, pp.11-42.

Guihard V., Lesdos C., 2007. L'agriculture sur trente ans : une analyse comparative avec l'industrie et les services. In. L'agriculture, nouveaux défis - Edition 2007, INSEE - Collection INSEE Références, Paris, pp.47-63.

Hamiti N., Siméon V., 2014. Une chambre à la pointe des nouvelles technologies. Chambre d'agriculture, (1034), 23.

Idele, 2016. Robots de traite : le nombre d'élevages équipés a doublé depuis 2010 !
http : //idele.fr/rss/publication/idelesolr/recommends/robots-de-traite-le-deploiement-continue.html.

Jarrige F., 2016, Ils ont critiqué le progrès, CNRS Le Journal, n°284, pp 56-57.

Isaac H., Pouyat M., 2015, Les défis de l'agriculture connectée dans une société numérique, Renaissance numérique, nov. 2015, 104 p.

Lecocq R., 2015, Automatisation du machinisme, JAMAG, n°720, 11/2015, pp. 44-45.

Lémery B. (2006). Nouvelle agriculture, nouvelles formes d'exercice et nouveaux enjeux du conseil aux agriculteurs. In Rémy J., Brives H., Lémery B. (Éds.) (2006), « Conseiller en agriculture », Dijon / Paris, Educagri et éditions Quae, p. 235-252.

Morris, I. 2010. Why the west rules-for now: The patterns of history and what they reveal about the future. Profile books.

O'Neil C., 2016, Weapons of math destruction. How Big Data Increases Inequality and Threatens Democracy, New York: Crown Publishers, 272 p.

Pillaud H., Agronumericus, internet est dans le pré, Editions France Agricole, Paris.

Reix R., 2004. Systèmes d'information et management des organisations, 5 ième édition, Vuibert, Paris.

Rifkin, J. 2012. La troisième révolution industrielle : comment le pouvoir latéral va transformer l'énergie, l'économie et le monde. Editions Les liens qui libèrent.

Séronie J.-M., Boullet P., 2007. L'exploitation agricole flexible. CER France - Les cahiers du CER, 36.

Schretr N., 2018. On a testé la blockchain de traçabilité d'une filière de poulet, Sciences et Avenir, mars 2018, www.sciencesetavenir.fr/nutrition/aliments/l-entreprise-carrefour-instaure-un-systeme-blockchain-pour-tracer-une-filiere-de-poulets_121844.

Simon, H. A. (1960). The new science of management decision. Harper & Row, 1960 - 50 pages.

Simon, H. A. (1972). Theories of bounded rationality. Decision and organization, 1(1), 161-176.

Simon, H. A. (1976). From substantive to procedural rationality. In 25 Years of Economic Theory (pp. 65-86). Springer US.

Soulignac V., 2012. Système informatique de capitalisation de connaissances et d'innovation pour la conception et le pilotage de systèmes de culture durables, Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal- Clermont-Ferrand.

Waldrop M. 2016. More than moore. Nature, 530(7589), 144. http://www.nature.com/news/the-chips-are-down-for-moore-s-law-1.19338.