



**HAL**  
open science

## Le numérique : levier de l'agriculture durable

Véronique Bellon-Maurel, Isabelle Piot-Lepetit

► **To cite this version:**

Véronique Bellon-Maurel, Isabelle Piot-Lepetit. Le numérique : levier de l'agriculture durable. Les Cahiers du Cercle des Économistes, 2021, pp.29-35. hal-03204611

**HAL Id: hal-03204611**

**<https://hal.inrae.fr/hal-03204611>**

Submitted on 21 Apr 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



les *CAHIERS*  
du Cercle  
des économistes

Sous la direction de  
Jean-Hervé Lorenzi

**LA FRANCE  
EST-ELLE TOUJOURS  
DANS LA COURSE  
TECHNOLOGIQUE ?**

Avec les contributions de

François Barrault

Véronique Bellon-Maurel

Françoise Benhamou

Bernard Bigot

Anne Bouverot

Elie Cohen

Mathieu Duchâtel

Lionel Fontagné

André Loeseckrug-Pietri

Jean-Hervé Lorenzi

Denis Lucquin

Valérie Mignon

Mathieu Noguès

Tanya Perelmuter

Isabelle Piot-Lepetit

Erwann Tison

Alain Trannoy

Guy Turquet de Beauregard

Claire Waysand

# Sommaire

|  |   |
|--|---|
| État des lieux de la France (Mathieu Noguès) . . . . . | 5 |
|--|---|

## Quelles sont les technologies d'avenir ?

|   |    |
|---|----|
| Résilience stratégique et politiques industrielles : le cas des semi-conducteurs (Mathieu Duchâtel) . . . . . | 15 |
|---|----|

|  |    |
|--|----|
| L'intelligence artificielle, une question de confiance (Anne Bouverot et Tanya Perelmuter) . . . . . | 22 |
|--|----|

|   |    |
|---|----|
| Le numérique : levier de l'agriculture durable (Véronique Bellon-Maurel et Isabelle Piot-Lepetit) . . . . . | 29 |
|---|----|

|  |    |
|--|----|
| IOT, 5G, IA, Processeurs Quantiques, tout s'accélère... en route vers le futur (François Barrault) . . . . . | 36 |
|--|----|

|   |    |
|---|----|
| ITER et la fusion de l'hydrogène, un atout économique décisif ? (Bernard Bigot) . . . . . | 43 |
|---|----|

|  |    |
|--|----|
| Energie, grand projet et technologies (Guy Turquet de Beauregard). . . . . | 50 |
|--|----|

|  |    |
|--|----|
| L'avenir des biotechs françaises passe-t-il par un Nasdaq européen ? (Denis Lucquin) . . . . . | 58 |
|--|----|

## Comment développer de grands projets technologiques aujourd'hui ?

|  |    |
|--|----|
| Le renouveau technologique passe par des Pôles de compétitivité (Jean-Hervé Lorenzi) . . . . . | 65 |
|--|----|

|  |    |
|--|----|
| L'avenir de la France comme grande nation scientifique (Alain Trannoy) . . . . . | 69 |
|--|----|

|   |     |
|---|-----|
| Financement de la recherche en France : un focus sur le système universitaire français (Valérie Mignon) . . . . .                   | 76  |
| Les innovations, les ménages, les entreprises et l'ambition de l'État : une nouvelle répartition à définir (Erwann Tison) . . . . . | 83  |
| Quelles priorités technologiques pour l'autonomie stratégique européenne ? (André Loesekrug-Pietri) . . . . .                       | 90  |
| France et systèmes nationaux d'innovation (Elie Cohen) . . . . .  | 100 |

## **Répondre aux enjeux d'aujourd'hui**

|   |     |
|---|-----|
| Climat – énergie, la technologie peut-elle répondre à tout ? (Claire Waysand) . . . . . | 112 |
| Quelques leçons à tirer du débat sur la 5G (Françoise Benhamou) . . . . .               | 119 |
| Comment réindustrialiser la France ? (Lionel Fontagné) . . . . .                        | 126 |
| Auteurs . . . . .   | 132 |

# 03

## Le numérique : levier de l'agriculture durable

Véronique Bellon-Maurel et Isabelle Piot-Lepetit

### Le numérique, une nouvelle révolution en agriculture ?

Depuis le Néolithique, qui marque sa naissance, l'agriculture a été le siège d'une série d'innovations dont l'adoption massive a mené à plusieurs « révolutions agricoles ». On appelle « révolution agricole » toute modification importante des systèmes agraires permettant d'augmenter fortement la production agricole (par augmentation de la productivité du travail et/ou des rendements). Jusqu'aux années 2000, on dénombre entre trois et six révolutions agricoles, selon la finesse de l'analyse. Les moments marquants sont (i) l'arrêt de la jachère au 17<sup>ème</sup> siècle et l'introduction des légumineuses, qui accroissent les rendements, (ii) la mécanisation au milieu du 19<sup>ème</sup> siècle, qui accroît la productivité et (iii) l'industrialisation (basée sur la motorisation et les intrants chimiques) au milieu du 20<sup>ème</sup> siècle (Griffon, 2013). Depuis la deuxième décennie du 21<sup>ème</sup> siècle, une double transition est en marche : agro-écologique et numérique. Promue par les pouvoirs politiques pour offrir une alternative au modèle agricole conventionnel, non durable, l'agroécologie vise une production plus respectueuse de l'environnement, plus résiliente aux aléas climatiques, moins dépendante des intrants et plus rémunératrice. Elle consiste à élaborer des agro-écosystèmes à forte diversité fonctionnelle offrant les services de protection ou de nutrition des plantes, en remplacement des intrants chimiques, via des régulations biologiques et le bouclage de cycles biogéochimiques (de l'azote, du carbone).

La transition numérique en agriculture relève d'une dynamique exogène. Elle utilise les technologies de l'information et de la communication et le calcul pour capter des données, les transmettre, les analyser et produire des indicateurs ou des recommandations. Déjà présentes depuis une quarantaine d'années en agriculture de précision, ces technologies numériques permettent une gestion intra-parcellaire des intrants (« la bonne dose au bon endroit ») en rupture avec la gestion « à la parcelle ». L'agriculture numérique est cependant un concept beaucoup plus large et aussi plus récent (apparu vers 2015). Il embrasse des échelles spatiales et temporelles qui vont au-delà de la gestion de la parcelle (exploitation, territoires, chaînes de valeurs...) et de la saison (gestion à long-terme). L'intégration de cette complexité est rendue possible grâce à trois leviers qui caractérisent l'agriculture numérique - la donnée, le calcul (intelligence artificielle, calcul haute performance...) et la connectivité via les réseaux - la robotique étant souvent vue comme un 4ème levier.

Le numérique accélère la transition agroécologique, jouant le rôle d'une « technologie habilitante » (Bellon-Maurel et Huyghe, 2017). Il ouvre des opportunités dans trois dimensions : l'amélioration de la production, l'inclusion dans les chaînes de valeur et le partage des connaissances, qui seront illustrées ci-après.

## **Le numérique, une ressource pour améliorer la production**

Le numérique permet de créer un agriculteur « augmenté » dans ses capacités de perception (capteurs), de cognition (outils d'aide à la décision ou OAD) et d'action (robotique). Les données étant au cœur de l'agriculture numérique, les systèmes d'acquisition de données sont alors essentiels. Ils vont du capteur fixe installé dans une parcelle et maintenant connecté (via l'internet des objets ou IoT) à des capteurs mobiles - portés par des animaux, transportés par des

opérateurs (ex. smartphone) ou des tracteurs (détection des mauvaises herbes, des déficits nutritionnels...) - et aussi des capteurs aéroportés - sur des drones ou sur satellites. Il y a aujourd'hui de plus en plus d'images d'observation de la Terre, en particulier via les satellites Sentinel 2, qui ont des propriétés très intéressantes en agriculture (nombreuses bandes spectrales, bonne résolution spatiale et temporelle...). Les capteurs connectés fournissent des séries temporelles qui, traitées seules ou en association avec d'autres données, permettent d'estimer des propriétés difficiles à mesurer. L'intelligence artificielle devient indispensable pour traiter ces grandes quantités de données hétérogènes. Par exemple aujourd'hui, on sait détecter des épis de blés sur des images prises au-dessus d'un champ de blé (ce qui remplace avec succès de fastidieux comptages manuels). On sait aussi détecter avec précision le moment favorable pour inséminer une vache grâce à des mesures de température et d'activité. Ces données servent la prise de décision, mais peuvent aussi être valorisées dans les chaînes de valeur, sous la forme d'informations ou dans des systèmes de rémunération des services écosystémiques (par ex. en calculant le carbone stocké).

L'agriculteur est aidé dans sa prise de décision par des OAD. Traditionnellement, ceux-ci font appel à des modèles agronomiques mécanistes qui tiennent peu compte de la situation de chaque exploitation. De nouveaux modes de modélisation, basés sur l'inférence, sont rendus possibles par l'abondance des données collectées sur une ferme. Un défi est alors de construire des modèles adaptés aux conditions locales, intégrant la stratégie de l'agriculteur et dont la logique est comprise par celui-ci. Enfin, l'automatisation (par ex. de l'irrigation) et les robots sont prisés par les agriculteurs, car ces technologies augmentent le confort et la productivité du travail. Elles leur permettent ainsi de consacrer du temps à des tâches plus rémunératrices (transformation, vente...) et l'affranchissent des contraintes



d'horaire. Les robots de traite des vaches, très répandus, conjuguent ces arguments de confort et d'économie. C'est dans le domaine du maraichage « bio » que sont aujourd'hui commercialisés la plupart des petits robots désherbeurs. En plein champ (grandes cultures), les robots doivent répondre à des contraintes plus ardues de navigation autonome et de sécurité et sont encore au stade du développement

## **Le numérique dans les chaînes de valeur**

Au-delà des bénéfices pour la production agricole, le numérique modifie les chaînes de valeur en permettant une désintermédiation/remédiation qui modifie les positions historiques des acteurs de ces chaînes. La désintermédiation, issue de l'intensité informationnelle croissante qui accompagne produits et services, permet d'accéder à des données ou connaissances sans passer par un ou des intermédiaires. La remédiation résulte du fait qu'il devient de plus en plus facile d'agréger produits et services, auparavant achetés séparément.

Les effets attendus des technologies numériques se portent aussi sur la traçabilité et la transparence comme moteur d'une confiance permettant de reconnecter les consommateurs avec les producteurs et de garantir la qualité des produits, via par ex. l'e-certification et la blockchain (chaînes de blocs). Technologie de stockage et de transmission d'informations, transparente, sécurisée, fonctionnant sans organe central de contrôle (système distribué sans autorité centrale), la blockchain permet le suivi des denrées périssables et un diagnostic plus rapide des sources de contamination. Cependant, si la blockchain garantit la validité des données transmises (origine, intégrité, temporalité), elle n'est pas garante de leur véracité. Par ailleurs, tous les partenaires des chaînes de valeur ne sont pas prêts à partager toutes leurs données, même s'ils partagent le souhait de créer plus de transparence et de confiance.

Les plateformes sont aussi au cœur des nouveaux circuits économiques de vente de produits agricoles et alimentaires. De nombreuses collectivités territoriales en proposent pour rapprocher l'offre de la demande, dynamiser l'agriculture et les territoires et approvisionner localement la restauration collective (Loi Egalim). Le verrou qui entrave ces nouveaux circuits est double : visibilité de l'offre et logistique. Aujourd'hui, l'offre est éparpillée sur des plateformes multiples, ce qui limite l'effet réseau (loi de Metcalfe) et donc l'attractivité de la plateforme. Par ailleurs, il est important de tenir compte des pratiques réelles des acteurs impliqués, notamment producteurs et consommateurs, afin d'optimiser l'approvisionnement et le transport des produits.

En agriculture, le numérique modifie les services d'assurance grâce aux systèmes d'observation et aux modèles et permet le développement d'offres « indicielles », indemnisant le client sur la base d'indices liés à ces pertes : indices de rendement régionalisé, indices climatiques, indices basés sur l'imagerie satellitaire ou indices composites combinant des données satellitaires, climatiques, voire d'usage des sols. Toutefois, cela pose des challenges : complexité des indices, non interprétables par les agriculteurs, intégrant difficilement les dynamiques météorologiques dues au changement climatique ou utilisant les données massives - multi-sources, multi-résolutions et non-stationnaires - de manière imparfaite.

Les activités de conseil sont aussi au cœur des systèmes d'innovation en agriculture numérique, afin de mieux équiper les conseillers agricoles en front-office (nouvelles interfaces et applications entre conseillers et agriculteurs) et en back-office (fabrication de nouveaux services via l'utilisation massive de données ou de modèles agronomiques). Mais la digitalisation s'accompagne également de l'émergence de nouveaux acteurs (startup, entreprises des technologies de l'information...) qui transforment l'offre de conseil technique et les dynamiques des systèmes d'innovation agricole (Florez et al. 2021).

## **Le numérique, un outil pour accroître le capital informationnel et social**

Le numérique est perçu par les agriculteurs comme un formidable outil de partage pour se relier au monde et aux autres producteurs<sup>1</sup>. Les réseaux sociaux sont prisés par les agriculteurs pour échanger avec leurs pairs, mais aussi pour se relier à la société, comme en témoigne des initiatives telles que FranceAgriTwittos<sup>2</sup>. Les plateformes numériques dédiées facilitent l'accès aux informations avec différents types de supports (vidéos, enregistrements de savoirs paysans, fiches techniques, plans...). Les démarches participatives - pratiquées depuis longtemps pour engager les agriculteurs dans la co-conception de systèmes de cultures et le changement de pratique - s'équiperont demain de dispositifs numériques : simulateurs informatiques grâce auxquels les agriculteurs peuvent accéder à l'impact financier, organisationnel, voire même paysager (via la réalité augmentée) des changements envisagés ou jeux sérieux numériques (négociation, prise de décision collective). Enfin, en facilitant la collecte et l'agrégation des données, le numérique ouvre la voie à « l'expérimentation à la ferme », une forme d'innovation ouverte où agriculteurs et chercheurs collaborent avec des gains partagés : l'agriculteur met en place une nouvelle pratique dont les conséquences sont enregistrées par des capteurs, le chercheur peut réutiliser ces données pour créer des connaissances nouvelles (en les agrégeant à d'autres données). Cependant, la question de la gouvernance des données produites par les agriculteurs reste cruciale.

---

<sup>1</sup> Digital is Future, AgriAgro - Quel rôle pour le numérique dans le monde agricole ? <https://www.youtube.com/watch?v=NOm7kxTDSMQ>, en ligne le 31 Mars 2021, (intervention à 1:23:20)

<sup>2</sup> <https://franceagritwittos.com/>

## Des politiques publiques pour accompagner la recherche et l'innovation, vers un numérique agricole responsable

L'agriculture numérique suscite aujourd'hui une explosion de startup, de services et produits issus des agrofournisseurs traditionnels (agroéquipements, intrants) mais aussi de l'intérêt de nouveaux entrants comme les GAFAM, en production (Google, Microsoft) et dans la distribution (Amazon). Or le numérique comporte des risques (exclusion du fait de la fracture numérique, renforcement des relations de pouvoir, coût environnemental...). Il devient essentiel de les identifier, de mettre en place des approches de recherche et d'innovation responsables (Owen et al 2012) et de construire les politiques publiques favorisant un développement harmonieux du numérique, au bénéfice de tous les participants des chaînes de valeurs.

### References

Bellon-Maurel V., Huyghe C. (2017). Putting agricultural equipment and digital technologies at the cutting edge of agroecology, OCL - Oilseeds and fats, Crops and Lipids, 24(3), D307

Florez M., Bourdon I., Gauche K., Piot-Lepetit I. (2021). Agri-alimentaire 4.0 en France : état des lieux des technologies numériques proposées par les startup, AIM 2021 – 26e Conférence de l'Association Information et Management, 9-11 juin, 16p.

Griffon M. (2013). Vers une septième révolution agricole, C.E.R.A.S | « Revue Projet », 1(332), 11-19.

Owen R., Macnaghten P., Stilgoe J. (2012). Responsible research and innovation: from science in society to science for society, with society. Sci. Public Policy, 39, 751–760.

## Auteurs

**François Barrault**, président Idate DigiWorld

**Véronique Bellon-Maurel**, INRAE, chef Adjointe du Département MathNum, directrice de l'Institut Convergences Agriculture Numérique #DigitAg

**Françoise Benhamou**, co-présidente du Cercle des économistes et professeure à Sorbonne Paris Nord

**Bernard Bigot**, directeur général d'ITER Organization

**Anne Bouverot**, présidente de Technicolor et de la Fondation Abeona

**Elie Cohen**, directeur de recherches au CNRS et professeur à SciencesPo

**Mathieu Duchâtel**, directeur du programme Asie de l'Institut Montaigne

**Lionel Fontagné**, membre du Cercle des économistes et professeur à l'École d'Économie de Paris

**André Loesekrug-Pietri**, président & Scientific Director du Joint European Disruptive Initiative

**Jean-Hervé Lorenzi**, fondateur du Cercle des économistes

**Denis Lucquin**, Managing Partner chez Sofinnova Partners

**Valérie Mignon**, membre du Cercle des économistes, professeure d'économie à l'Université Paris Nanterre, chercheur à EconomiX-CNRS et conseiller scientifique au CEPII

**Mathieu Noguès**, assistant de recherche de la chaire « Transitions Démographiques, Transitions Économiques »

**Tanya Perelmuter**, directrice de la Stratégie et des Partenariats de la Fondation Abeona

**Isabelle Piot-Lepetit**, MolSA, INRAE, directrice adjointe Institut Convergences #DigitAg

**Erwann Tison**, directeur des études de l'Institut Sapiens

**Alain Trannoy**, membre du Cercle des économistes, directeur d'Études à l'EHESS et professeur à l'AMSE

**Guy Turquet de Beauregard**, président de SEVY Conseil et de Nuclear Medicine Europe

**Claire Waysand**, membre du Cercle des économistes et directrice générale adjointe - secrétaire générale d'ENGIE