



HAL
open science

Agriculture de précision, connectée, numérique et Big Data. Enjeux pour le schéma stratégique du SAD

Nathalie Hostiou, Julie Labatut, Pierre P. Labarthe, Olivier Schmit

► **To cite this version:**

Nathalie Hostiou, Julie Labatut, Pierre P. Labarthe, Olivier Schmit. Agriculture de précision, connectée, numérique et Big Data. Enjeux pour le schéma stratégique du SAD. 2016. <hal-02793550>

HAL Id: hal-02793550

<https://hal.inrae.fr/hal-02793550v1>

Submitted on 5 Jun 2020

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.



HAL Authorization

« Agriculture de précision, connectée, numérique et Big Data ».

Enjeux pour le schéma stratégique du SAD

Contributeurs : Nathalie Hostiou, Pierre Labarthe, Julie Labatut, Olivier Schmit¹

Ce document présente des éléments de définition de différentes conceptions de l'usage du numérique en agriculture (section 1), les enjeux de développement agricole associés (section 2), et les questions de recherche soulevées pour le SAD (section 3) et le schéma stratégique du département (section 4).

1. Ce qu'on entend par « Agriculture de Précision, Connectée, Numérique et Big Data »

Ces termes sont plus ou moins proches, leurs périmètres se chevauchent et ils ne sont pas tous décrits scientifiquement. L'ensemble traduit une évolution technologique en train de s'opérer en agriculture. Ce phénomène est ancien mais il s'est accéléré ces dernières années, et surtout, il a changé de nature. Les dispositifs numériques ont aujourd'hui la capacité de communiquer entre eux, d'interagir et leur développement est tel qu'il inscrit le travail agricole dans un véritable « éco-système numérique » (Laborde *et al.* 2012). Cette évolution est l'objet de nouvelles stratégies d'investissements de la part d'opérateurs économiques non agricoles. Elles laissent entrevoir une agriculture robotisée qui abonderait l'Internet avec des données de masse, traitées et exploitées par ces nouveaux opérateurs. L'émergence de ces nouvelles technologies est présentée comme un des leviers d'action possible pour répondre au besoin de développement d'une agriculture durable (Eastwood *et al.* 2004). Plusieurs objectifs sont avancés : accompagner l'augmentation de la taille des exploitations et l'amélioration de la productivité du travail, garantir la qualité sanitaire et gustative des produits, limiter des risques d'épizootie, réduire l'utilisation des traitements vétérinaires et des intrants (engrais, pesticides...), prendre en compte du bien-être animal ou encore l'impact de la production sur l'environnement.

1.1 La diversité des technologies à l'œuvre

L'**agriculture de précision** est le terme le plus ancien. Il renvoie à l'idée d'utiliser de nouvelles technologies pour intégrer la diversité des plantes ou des animaux à une échelle infra (intra-parcellaire ou intra-troupeaux) dans les pratiques (fertilisation, alimentation, etc. Eip-Agri 2015).

En grandes cultures, le terme « agriculture de précision » est apparu aux Etats-Unis en 1985 comme nouvelle approche de la conduite des cultures. C'est la prise en compte de la diversité infra-parcellaire (relief, sols, etc.) et la modulation de pratiques culturales à cette échelle, telles que le travail du sol, le semis, la lutte contre les mauvaises herbes et les maladies (Auernhammer 2001, Gavaland et Vuillemin 2012, Zhang *et al.* 2002). C'est grâce aux technologies de géomatique et de détection en temps réel (GPS, SIG, miniaturisation des ordinateurs, capteurs embarqués sur engins agricoles) que l'échelle intra-parcellaire devient un objet de recherche agronomique puis fait l'objet d'investissements agro-industriels (Zwaenepoel et Lebars 1997).

Le concept d'**élevage de précision** naît en Europe dans les années 90 ; les élevages industriels sont les premiers à être concernés par le développement d'automates pour distribuer des rations individuelles, ou en élevage laitier, de robots de traite. L'intérêt pour l'élevage de précision répond à l'augmentation de la taille des élevages car l'éleveur n'aurait plus de temps à consacrer à des observations (Berckmans 2009). L'élevage de précision se définit par « l'utilisation coordonnée de capteurs pour mesurer des paramètres comportementaux, physiologiques ou de production sur les

¹ Merci à Nathalie Joly, Antoine Doré et Michel Duru pour leur relecture de ce document et leurs remarques constructives.

animaux ou les caractéristiques du milieu d'élevage, notamment les bâtiments (température, hygrométrie, ventilation...) et de Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) pour échanger, stocker, transformer et restituer ces informations à l'éleveur afin de l'aider dans sa prise de décision en complément de ses observations » (Hostiou *et al.* 2014). Un enjeu récent est le changement d'échelle pour passer d'une gestion par lots à un « monitoring » de chaque individu du troupeau : « l'élevage de précision remplace le pilotage d'un troupeau au niveau de celui de ses individus » (Meuret *et al.* 2013).

Cette idée se décline également en « **pâturage et pastoralismes de précision** ». Ces concepts ont émergé au milieu des années 2000 et se déclinent en deux registres agronomiques : d'une part, celui de la variabilité intra-parcellaire de la production d'herbe, la modulation des épandages et la lutte contre les espèces invasives, et d'autre part, celui d'utiliser des outils automatiques d'acquisition (collier GPS) pour surveiller et piloter des troupeaux.

L'agriculture de précision apparaît donc comme une stratégie d'aide à la décision au service de l'agriculteur. Celle-ci s'appuie sur des outils qui captent les informations au plus près de la production, envoient des données vers des ordinateurs ou serveurs qui les stockent et les traitent via des modèles et algorithmes pour un retour à l'agriculteur grâce aux TIC. En ce sens l'agriculture de précision comprend la notion d'**agriculture connectée** ou **numérique**, définie par le National Research Council Board of the Agriculture Committee of USA comme "*a management strategy that uses information technologies to bring data from multiple sources to bear on decisions associated with crop production*" (National Research Council 1997 dans Oliver *et al.* 2013, p. 6). Ces deux derniers termes (connectée ou numérique) sont peu documentés dans la littérature scientifique, mais apparaissent à des fins de communication technique et commerciale. Ils décrivent la manière dont les « objets agricoles » (machines, animaux, bâtiments, etc.) échangent des données entre eux, mais aussi sont connectés au web et à l'économie numérique. Le terme **smart agriculture** est également utilisé en réponse au changement climatique, mobilisant un ensemble de technologies dont celles liées au numérique. Outre l'aspect décisionnel que l'agriculture numérique promet d'équiper avec toujours plus de précision, un ensemble d'outils est également dédié à la gestion administrative (télédéclaration PAC, identification animale par internet, etc.), ou aux demandes de traçabilité (coopératives, distributeurs, organismes certificateurs, administration etc.) ainsi qu'à la gestion de l'interface avec les partenaires économiques des exploitants (fournisseurs, groupements de producteurs et coopératives, etc.).

Enfin, une des fonctions importantes des outils numériques est de permettre des collaborations plus horizontales et l'émergence, en agriculture, de nouveaux réseaux (les forums sur les techniques culturales sont un bon exemple de nouvelles formes de coopération et d'innovation en réseau).

Tous ces objets agricoles connectés collectent une grande quantité de données, telles des centrales d'acquisition d'information². L'ensemble des données collectées correspond à ce qui est nommé **big data**. Le principe est d'objectiver l'information grâce à la quantité de données. La masse de données et les nouvelles méthodes d'exploration de celles-ci permettraient de déplacer la question de la validité de manière à ne plus être forcément tributaire de la fiabilité, de l'objectivité, et de la précision des données. Leur valorisation peut être l'évaluation d'un matériel, d'une semence, d'un produit, etc. Potentiellement, ces données pourraient couvrir une plus grande diversité de situations agronomiques que celles issues de l'expérimentation ou des réseaux d'observation classique. Comme pour la traçabilité, les informations collectées en vue de big data doivent être mises en « chaînes » afin d'acquiescer du sens. Elles doivent également faire l'objet de validation par des « centres d'autorité » chargés de valider et

²<http://www.lafranceagricole.fr/dossier/agriculture-connectee-lisobus-alepreuve-du-terrain-1,0,171921084.html>

cautionner le processus d'information (Granjou et Valceschini, 2004).

1.2 Et concrètement pour les agriculteurs ?

Il est difficile de recueillir des données précises sur le développement et la diffusion de ces nouvelles technologies. Les capteurs équipent de plus en plus les « objets agricoles » qu'ils soient matériels (tracteurs et matériel attelés, automate de traite et d'alimentation, etc.), animaux (puces RFID), ou bâtiments et infrastructures agricoles (sondes). Selon les statistiques Agreste, en 2010, 5 à 10 % des agriculteurs en grandes cultures auraient adopté l'agriculture de précision. 30 % des moyennes et grandes exploitations utiliseraient des engins guidés par GPS (Meuret *et al.* 2013). En 2014, on comptait 3 800 robots de traite en France (contre 5 en 1998) et les intentions d'investissement pourraient conduire à un doublement d'ici à 2017 (Issac et Poyat, 2015). Dans le grand Ouest, 15% des éleveurs laitiers seraient équipés de capteurs pour détecter les chaleurs, les vêlages ou de rumination.

La production en masse (6 millions d'ha au Etats-Unis en 2005) de carte de rendements intra-parcellaire pour une utilisation ciblée des intrants (engrais, phytosanitaires, eau, énergie fossile) est un autre indicateur du développement de ces technologies. Les capteurs peuvent être satellitaires et aériens. Les données satellitaires ont fait partie de la première génération de données d'observation ; elles sont concurrencées par le développement récent de l'imagerie aérienne par drones. Le développement de cette offre est important en France, avec des outils tels que FARMSTAR³, basé sur l'imagerie satellitaire, premier outil d'aide à la décision (OAD) de fertilisation avec plus de 700 000 ha couverts, ou AIRINOV⁴, concurrent utilisant des drones, qui compte plus de 5000 agriculteurs clients.

Ces cartographies sont associées à la géolocalisation des objets agricoles. Initialement basées sur des solutions GPS différentielles locales, la précision décimétrique est devenue accessible grâce à l'augmentation de la constellation satellitaire (GPS, GLONASS, EGNOS) et la mise en œuvre de réseaux d'antennes de référence RTK (infrastructures privées Teria, Orphéon, Sat-INFO, etc.). Les agriculteurs louent ces services pour réaliser les opérations de semis, d'épandage et de traitement (barres de guidage, coupure de rampe, etc.).

Enfin, côté informatique de terrain, les smartphones et tablettes se sont démocratisés. Ils sont devenus des outils de pilotage et de contrôle des machines et robots. Ils le seront d'autant plus que la nouvelle norme de communication (ISOXML), s'appuyant sur l'ISOBUS, permet de communiquer avec n'importe quel terminal informatique. Les agriculteurs ont depuis une trentaine d'années la possibilité d'utiliser des logiciels de gestion (Taponnier et Desjeux, 1987). Initialement positionnée sur la gestion comptable et promue par les centres de gestion, cette offre logicielle s'est développée vers l'optimisation agronomique et économique ; des outils cartographiques sont aussi apparus. Les données, saisies ou issues des capteurs sont stockées chez l'agriculteur mais aussi, avec le développement du web, sur les serveurs des fournisseurs de solutions logicielles. Des applications sont développées par de nombreux opérateurs publics (INRA di@gnoPlant) ou privés (start up, firmes multinationales...).

Il est beaucoup plus difficile d'obtenir des données sur la réalité du Big Data. Ce marché est naissant et dominé par des entreprises de taille mondiale tel Monsanto, John Deere, IBM⁵ et dernièrement Google⁶. Plus globalement, nous ne prétendons bien sûr pas à l'exhaustivité, et manquons d'éléments

³ <https://www.farmstar-conseil.fr/>

⁴ <http://www.airinov.fr/>

⁵ http://www.research.ibm.com/articles/precision_agriculture.shtml

⁶ Monsanto considered big data in agriculture to be worth multi-billion dollar investments, evidenced by their acquisition of several farm data analytics companies between May 2012 and February 2014. (<http://www.techrepublic.com/article/how-big-data-is-going-to-help-feed-9-billion-people-by-2050/>)

sur le développement de ces technologies dans certains secteurs qui concernent les recherches au SAD (horticulture, viticulture, maraichage).

2. Pourquoi s'intéresser à ce ou ces sujets au SAD / quels enjeux ?

Cette thématique est pertinente pour le SAD car elle fait écho au rôle du Département dans la compréhension des changements de pratiques et l'évolution des modèles agricoles. Pour le moment, la majeure partie des études sur l'agriculture connectée concerne le fonctionnement des outils eux-mêmes, leur impact économique (Godwin *et al.* 2003) et les facteurs influençant l'adoption d'outils dans les exploitations (Pierpaoli *et al.* 2013, Borchers and Bewley 2015). Mais ces nouvelles technologies participent aussi à la transformation :

- **du travail** (durée, tâches, charge mentale,...) et **du métier des agriculteurs** (relations à l'animal, au terrain, etc.) ;
- **des prises de décision, des compétences et des connaissances** utiles pour piloter ces systèmes ;
- **du rapport à l'espace** (le satellite remplace le berger ; les algorithmes des robots de traite sont produits dans des pays avec des modèles d'élevage différent, etc.) ;
- **des métiers du conseil** ;
- **des nouveaux rapports entre acteurs privés et publics** autour de la conception, la validation et la diffusion de ces nouveaux outils ;
- **des relations aux consommateurs** (intégration consommation-production avec un suivi des données de consommation ; diffusion des informations sur les exploitations aux consommateurs par exemple en lien avec le bien-être animal ; acceptabilité sociale d'exploitations hyper technicisées, etc.).

Cette thématique est également un enjeu pour le SAD car elle pose des questions sur les modèles d'agriculture auxquels ces nouvelles technologies et big data contribuent. En effet, ces technologies et dispositifs techniques tels que les big datas ne sont pas neutres et ont une dimension gestionnaire, économique, politique et organisationnelle. Elles sont par exemple censées être une solution face à l'augmentation de la taille des troupeaux ou des exploitations, face à l'accroissement de la quantité d'informations à gérer ou encore face à la diminution du travail et des ressources humaines en milieu rural. Elles peuvent donc être considérées comme des enjeux de recherche pour le département. L'enjeu de la contribution de ces technologies et du big data à l'agro-écologie justifie ainsi plus spécifiquement l'intérêt de cette thématique pour le SAD. Si actuellement, l'agriculture numérique semble plutôt se développer pour des modèles agricoles dominants (basés sur l'agrandissement et l'intensification de la production), les systèmes agricoles agro-écologiques ne sont pas forcément exclus de l'utilisation de ces technologies pour répondre à leurs besoins et enjeux propres. Enfin, cette thématique concerne le SAD au travers de la question de la gestion des biens communs : qui contrôle ces données ? Qui en a l'accès ? Quelle réappropriation et à quelles fins ?

3. Ce que recouvre (ou pourrait recouvrir dans les prochaines années) les recherches sur le sujet dans le département SAD

Plusieurs lignes de recherche sur l'agriculture connectée peuvent faire l'objet de recherches au département SAD, notamment si l'on considère les technologies sur lesquelles elle repose comme des technologies gestionnaires, comportant alors trois dimensions constitutives (Hatchuel et Weil 1992) : i) celle des substrats techniques (bases de données, modèles, logiciel, plateformes, systèmes embarqués, etc.) ; ii) celle de la philosophie gestionnaire (une visée : ces technologies vont être présentées comme participant à la réduction des intrants, aux économies en eau, à l'augmentation de la productivité) ; iii)

celle du modèle organisationnel (ces technologies ou dispositifs, ces big data reposent sur une certaine organisation de la production de données, sur plus ou moins d'externalisation de certaines activités, sur la mise en réseau d'acteurs privés ou publics, etc...).

Les **technologies de l'agriculture connectée induisent des changements dans les pratiques quotidiennes et les manières de faire des agriculteurs**. Des recherches sont en cours et à développer pour caractériser et accompagner ces changements : dans le travail (organisation, durée, charge mentale, avec moins d'intervention physique et davantage de traitement de données, Joly 2010, 2012) et le métier des agriculteurs (Hostiou *et al.* 2014) ; dans les nouvelles formes de prise de décision (observations des cultures/animaux et données issues des capteurs), de compétences et de connaissances utiles pour piloter ces systèmes par les agriculteurs ainsi que les autres « intervenants » dans les exploitations (salariés, conseillers, vétérinaires...) ⁷ ; mais aussi dans les relations à l'animal et au bien-être animal ⁸. Est-ce que ces nouvelles technologies créent de la distension entre l'éleveur et ses animaux ? De nouvelles relations homme-animal se créent-elles ? En quoi les animaux contribuent au travail dans ces systèmes ?

Des thématiques de recherches sont aussi à traiter **sur les nouvelles formes de conseil et les partenariats public/privé qui se mettent en place pour développer ces technologies** (Labarthe 2010). Ils induisent des réorganisations dans le secteur public et accompagnent le mouvement d'une plus grande emprise des opérateurs privés dans le secteur de la création de logiciels de traitement de données, et dans l'offre de nouveaux services. Des multinationales de l'agrofourmiture se positionnent sur le marché des services « e-agricultures » ainsi que des multinationales hors champ agricole (Google...). En France et à l'étranger, de nombreuses sociétés, y compris des start-up, se positionnent sur le développement de ces nouveaux outils, avec de nouveaux modèles économiques qui modifient les systèmes de connaissances agricoles. L'écosystème numérique dans lequel s'inscrivent de plus en plus les exploitants les rend moins dépendants des informations de leur réseau local. Comment les pratiques de conseil se reconfigurent-elles dans ce contexte en *front-office* (l'intervention de face-à-face étant elle-même de plus en plus médiatisée par des OAD) et en *back-office* (comment le conseil équipe-t-il sa prestation ? Petit *et al.* 2015). Le conseil est également interrogé sur le degré d'autonomie de décision induit par les OAD : plus d'indépendance, car ces technologies rendraient les éleveurs et agriculteurs plus autonomes, en accédant à des données objectives ? Ou au contraire plus de dépendance cognitive (par leur côté « boîte noire » des modèles utilisés), juridique (protection intellectuelle) ou économique (liée au « business model » des prestataires) ?

Au-delà du conseil, ce sont donc plus largement **les dispositifs de production de données qui sont questionnés, et les rapports entre recherche publique, organismes de développement et entreprises dans la production et la gestion des « big data »**. Parallèlement, en quoi l'arrivée de flux massifs de données participe à reconfigurer les formes de « gouvernement du vivant » et la gestion des biens communs qui y sont liés ? Le cas des données de phénotypage et de génotypage massifs dans le domaine de la sélection animale illustre ces questionnements, conduisant à des réorganisations importantes dans le domaine de l'élevage laitier (privatisation de laboratoire de génotypage, intégration d'organismes de contrôles de performance dans des entreprises de sélection, etc.).

Des recherches seraient également nécessaires pour étudier les rapports **entre technologies connectées et big data d'un côté, et modèles agricoles de l'autre**. Le modèle high tech est-il réservé

⁷ En cours le projet Casdar Orgue (Caroline Auricoste, Nathalie Hostiou) et l'axe « élevage de précision » du RMT Travail en Elevage

⁸ Travaux de Jocelyne Porcher sur la contribution des vaches laitières au travail dans des exploitations avec robot de traite. Stage en cours d'Emeline Ganis (Florence Kling de l'Idéle, Nathalie Hostiou)

à une catégorie d'exploitations (de grandes dimensions, productives, ...) ou peut-il être un levier pour la transition agro-écologique ? Que serait une agriculture connectée pour accompagner la transition agro-écologique des exploitations ? Se limite-t-elle à une optimisation de systèmes de production simplifiés et spécialisés (le bon produit, la bonne dose, au bon endroit et au bon moment) ou peut-elle accompagner des systèmes plus diversifiés ? Il semble important de comprendre les potentiels et limites de contributions de ces technologies à l'agro-écologie. Et à quel type d'agroécologie : weak ou strong (Duru *et al.* 2015) ? Une hypothèse pourrait être que pour les grandes cultures, et le rôle des drones dans l'amélioration de la précision des traitements, on semble se trouver dans la « weak » AE (l'optimisation des intrants dans ces systèmes relèveraient plus d'une évolution que d'une transition). Pour l'élevage, malgré le lien affiché par les organismes techniques entre élevage de précision et agro-écologie (efficacité alimentaire, réduction des intrants médicamenteux), dans les faits ce lien reste plus que vague, et reposerait plus sur un modèle intensif classique. Cependant l'élevage pastoral est aussi concerné par les technologies numériques qui s'y développent (GPS, RFID...). On pourrait également concevoir des systèmes d'élevage basés sur la biodiversité en recourant aux nouvelles technologies.

Cette thématique soulève également **des questions de recherche sur les inégalités territoriales et la coexistence de différents modèles agricoles**. Va-t-elle créer des ruptures, des différences territoriales entre les agriculteurs quant aux niveaux d'équipements et aux usages du fait de l'organisation et des évolutions des réseaux de conseil, des possibilités d'accès au numérique, etc. ? La co-existence entre des fermes équipées de nouvelles technologies et les autres modèles agricoles (agro-écologiques par exemple) est également interrogée : est-ce que les fermes technologisées vont prendre le pas sur les autres ? Le modèle high tech a-t-il besoin des autres (moins high tech) pour exister ?

4. A quoi ce travail peut-il contribuer dans le prochain SSD ?

Les recherches sur l'agriculture connectée contribueraient au SSD sur la compréhension de la recomposition des exploitations et des territoires (CT1) quant aux dynamiques en cours dans les exploitations agricoles ainsi que les transformations du conseil (irruption de nouveaux acteurs/évolution des dispositifs d'accompagnement / de l'encadrement agricole). Des recherches sur l'agriculture connectée permettraient aussi de travailler sur les débats et les controverses du fait des représentations diverses pour les acteurs sur l'agriculture numérique (rêve ou cauchemar comme le disent Whates *et al.* 2008).

A la priorité « agroécologie pour l'action » : en quoi l'agriculture connectée et les big data sont utilisées pour l'agro-écologie, y contribuent-elles ou non ? Weak ou strong Agro ecology ?

A la priorité « coexistence et confrontation des modèles agricoles et alimentaires » : en quoi cela accroît les divergences entre modèles « fortement connectés » vs modèles plus « low-tech » ?

Références citées

- Auernhammer, H. (2001). Precision farming—the environmental challenge. *Computers and Electronics in Agriculture*, 30(1), 31–43.
- Berckmans, D. (2009). Perspectives of precision livestock farming. *Agricultural Technologies In a Changing Climate: The 2009 CIGR International Symposium of the Australian Society for Engineering in Agriculture*, 13.
- Borchers, M. R., & Bewley, J. M. (2015). An assessment of producer precision dairy farming technology use, prepurchase considerations, and usefulness. *Journal of Dairy Science*, 98(6), 4198–4205.
<http://doi.org/10.3168/jds.2014-8963>
- Desjeux, D., & Taponier, S. (1994). *Informatique, décision et marché de l'information en agriculture*. Paris: L'Harmattan.

- Duru, M., Therond, O., & Fares, M. (2015). Designing agroecological transitions; A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4). <http://doi.org/10.1007/s13593-015-0318-x>
- Eastwood, C. R., Chapman, D. F., & Paine, M. S. (2012). Networks of practice for co-construction of agricultural decision support systems: Case studies of precision dairy farms in Australia. *Agricultural Systems*, 108, 10–18. <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.12.005>
- EIP-AGRI. (2015). Focus Group Precision Farming. Final Report, november 2015. 44 p.
- Gavaland, A., & Vuillemin, F. (2012). Inventaire des techniques d'agriculture de précision au stade recherche ou mobilisables pour réduire l'utilisation des produits phytosanitaires et leur transfert vers l'environnement (Mémoire, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse, FRA).
- Godwin, R. ., Richards, T. ., Wood, G. ., Welsh, J. ., & Knight, S. . (2003). An Economic Analysis of the Potential for Precision Farming in UK Cereal Production. *Biosystems Engineering*, 84(4), 533–545. [http://doi.org/10.1016/S1537-5110\(02\)00282-9](http://doi.org/10.1016/S1537-5110(02)00282-9)
- Granjou, C., & Valceschini, E. (2004). Certifier en situation d'incertitude: le cas des OGM. *Natures Sciences Sociétés*, 12(4), 404–412.
- Hatchuel, A., & Weil, B. (1992). *L'expert et le système: gestion des savoirs et métamorphose des acteurs dans l'entreprise industrielle: suivi de Quatre histoires de systèmes-experts*. Paris: Economica.
- Hostiou, N., Allain, C., Chauvat, S., Turlot, A., Pineau, C., & Fagon, J. (2014). L'élevage de précision: quelles conséquences pour le travail des éleveurs? *INRA Productions Animales*, 27(2), 113–122.
- Issac, H., & Poyat, M. (2015). *Les défis de l'agriculture numérique connectée dans une société numérique. 16 propositions pour repenser la production, la distribution et la consommation alimentaires à l'ère du numérique*. Reconnaissance numérique.
- Joly, N. (2012a). Conseiller en contexte réglementé » in, E. In *Bonnaud L. Joly N. (eds.), Alimentation sous-contrôle : tracer/auditer les denrées alimentaires* (pp. 119–140). Dijon: Educagri Editions/Inra-Quae, collection Sciences en partage.
- Joly, N. (2012b). Faire preuve. Les écrits de traçabilité dans les exploitations. In *Laborde A. (ed.), TIC et agriculture. Appropriation des dispositifs numériques et mutations des organisations* (pp. 119–140). Paris: L'Harmattan. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01136968/>
- Labarthe, P. (2010). Services immatériels et verrouillage technologique. Le cas du conseil technique aux agriculteurs. *Économies et Sociétés*, 44(2), 173–96.
- Laborde, A. (2012). *TIC et agriculture. Appropriation des dispositifs numériques et mutations des organisations*. Paris: L'Harmattan.
- Meuret, M., Tichit, M., & Hostiou, N. (2013). Elevage et pâturage «de précision»: l'animal sous surveillance électronique. *Courrier de l'Environnement de l'INRA*, 63, 13–24.
- Oliver, M. (2013). An overview of precision agriculture. In *M. Oliver, T. Bishop, & B. Marchant (Eds.), Precision Agriculture for Sustainability and Environmental Protection* (pp. 3-19). New York: Earthscan from Routledge.
- Petit, S., Compagnone, C., & Joly, N. (2015). L'environnement par la réglementation. Transformations dans le métier de conseiller agricole. In *G. Bouleau, J. Candau, I. Mauz et A. Richard-Ferroudji, Les activités professionnelles à l'épreuve de l'environnement* (pp. 115–131). Toulouse: Octares.
- Pierpaoli, E., Carli, G., Pignatti, E., & Canavari, M. (2013). Drivers of Precision Agriculture Technologies Adoption: A Literature Review. *Procedia Technology*, 8, 61–69. <http://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.11.010>
- Taponier, S., & Desjeux, D. (1994). Informatique, décision et marché de l'information en agriculture.
- Wathes, C. M., Kristensen, H. H., Aerts, J.-M., & Berckmans, D. (2008). Is precision livestock farming an engineer's daydream or nightmare, an animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall? *Computers and Electronics in Agriculture*, 64(1), 2–10. <http://doi.org/10.1016/j.compag.2008.05.005>
- Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). Precision agriculture—a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36(2), 113–132.
- Zwaenepoel, P., & Le Bars, J.-M. (1997). L'agriculture de précision. *Ingénieries-EAT*, (12), p–67.