Cahiers
#Costech

Hanitra Randrianasolo
Michel J.-F. Dubois
> Sauvée Loïc

La transition environnementale et numérique de l'agriculture française

Une approche par la dépendance au sentier

> #Numéro 5
> Evolution agrotechnique contemporaine
> Documents évolutifs
> INTERACT - Innovation, Territoire, Agriculture & Agroindustrie, Connaissance et technologie (UniLaSalle)
> Agriculture et technologie - > Développement durable

Citer cet article

Randrianasolo, Hanitra., Dubois, Michel J.-F.., Sauvée Loïc. "La transition environnementale et numérique de l'agriculture française. Une approche par la dépendance au sentier", 9 septembre 2022, *Cahiers Costech*, numéro 5.
DOI https://doi.org/10.34746/cahierscostech149 -
URL https://www.costech.utc.fr/CahiersCostech/spip.php?article149

Cette analyse a été effectuée dans le cadre d'une recherche menée par la Chaire « Managament des

risques en agriculture », co-fondée par UniLaSalle, campus Beauvais et Groupama Paris Val de Loire.

Document évolutif : version été 2022. Édition finale prévue en avril 2024.

Auteur(s)

Hanitra Randrianasolo est maitre de conférences à Paris Saclay, chercheure associée à UniLaSalle Beauvais, membre de l'équipe d'accueil IDEST et de l'UP InterAct. Elle est, entre autres, responsable de programme au sein de la chaire Management des risques en agriculture.
Depuis 2007, elle conduit des recherches sur le renversement de la dépendance au sentier, dans différents secteurs et filières où le processus de changement est caractérisé par l'autorenforcement, le verrouillage sociotechnique, et la sensibilité à la contingence.

Michel J.F. Dubois est ingénieur agronome et biologiste moléculaire de formation initiale. Docteur en biologie et HDR en philosophie, il est enseignant-chercheur à UniLasalle, dans l'unité de recherche INTERACT. Ses expériences professionnelles dans les filières agricoles et agroalimentaires se situent de la recherche jusqu'au développement commercial et la communication. Auteur d'ouvrages sur la transition énergétique et la transformation de l'esprit scientifique dans la société contemporaine, ses compétences sont orientées sur la formation, l'accompagnement à des projets de R&D, la réflexion sur les problématiques énergétiques et agricoles et le développement durable, la relation humain-technique-vivant et son rôle dans l'évolution humaine. Il est chercheur associé au LIED (Paris VII).

Loïc Sauvée est enseignant-chercheur HDR en sciences de gestion, ingénieur agronome et docteur en agroéconomie, il dirige l'unité de recherche InTerACT à l'Institut polytechnique

UniLaSalle. Ses recherches portent sur l'innovation agricole, la RSE agroalimentaire, l'apprentissage organisationnel et technologique. Il est chercheur associé au laboratoire COSTECH (UTC) et directeur du GIS UTSH (2020-2021).

Plan

Introduction & clé de lecture
- Contribution sociétale

I - AVANT l'institutionnalisation de la transition environnementale et numérique de l'agriculture française
- La rupture : Une baisse SANS équivalent du nombre d'actifs couplée à une hausse CONSIDERABLE des volumes de production
- Une mutation unique depuis le néolithique
- Maximum atteint, risque de décroissance de la production ?
- Les trois faits marquants d'avant l'institutionnalisation de la transition
  - Fait marquant n°1 - La chimie au service de l'injonction « Il faut nourrir le monde »
    - Premier domaine : les engrais de synthèse
    - Deuxième domaine : les produits d'extraction minière
    - Troisième domaine : les produits de protection des plantes
    - Analyse : Portée de l'innovation ? Quels développements ?
    - Analyse : Quelles dépendances au sentier ? Le début de l'institutionnalisation de la transition ?
    - Des solutions de remplacement coûteuses et des verrous effectifs
    - Enseignements en termes de management de risques en agriculture
  - Fait marquant n°2 – Le travail mécanique du sol, un pilier supposé de la productivité ?
    - In fine, la vraie innovation : la mécanisation
    - Analyse : Portée de l'innovation ? Quels développements et dépendances au sentier ?
    - Enseignements en termes de management de risques en agriculture
  - Fait marquant n°3 – La sélection, l'amélioration des plantes et la génétique
    - Analyse : Portée de l'innovation ? Quels développement et dépendances au sentier ?
    - Enseignements en termes de management de risques en agriculture

II - AU CŒUR de l'institutionnalisation de la transition environnementale et numérique de l'agriculture française
- Une ère des « Soft skills » ou « compétences générales et/ou transversales »

Agriculteurs-chercheurs-entrepreneurs : un nouveau profil ?

Fait marquant n°4 – Minimiser la dépendance aux énergies fossiles

Analyse : Portée de l'innovation ? Quels développements et renversements de dépendance au sentier ?

Pistes en termes de management de risques en agriculture

Fait marquant n°5 – Une approche en alliance avec la nature

Analyse : Portée de l'innovation ? Quels développements et **renversements** de dépendance au sentier ?

Pistes en termes de management de risques en agriculture

Fait marquant n°6 – Poursuite de l'amélioration génétique avec ou sans biotech

Analyse : Portée de l'innovation ? Quels développements et renversements de dépendance au sentier ?

Pistes en termes de management de risques en agriculture

Fait marquant n°7 – Adaptation et remédiation au changement climatique

Analyse : Portée de l'innovation ? **Quels renversements** de dépendance au sentier ?

Pistes en termes de management de risques

Fait marquant n°8 – Numérique et… robotique – Nouveaux modèles économiques

Analyse : Portée de l'innovation ? Quelles dépendances au sentier ?

Enseignements en termes de management de risques

Conclusion et perspectives

Introduction & clé de lecture

Notre analyse de l'évolution de l'agriculture française considère 2 périodes :

- **Avant** l'institutionnalisation de sa transition environnementale et numérique
- Et **au cœur** de l'institutionnalisation de cette transition.
  Pour chaque période, nous mobilisons un triptyque : « Innovation –

Développement & Dépendance au sentier – Transition » ;

Nous posons d'abord que des innovations *(Fait marquant)* ont donné lieu à un développement conséquent du secteur agricole et/ou de filières particulières. Nous analysons à fortiori la portée de ces innovations. Ensuite, nous montrons aussi qu'elles ont été sources de dépendances au sentier. Selon la littérature pionnière de David (1985, 2000), cela représente un autorenforcement d'une manière de faire (technologie) malgré la présence d'une meilleure alternative. Et qui au fil du temps est décriée à la lumière de ses impacts, cependant, impossibles à totalement connaître à son lancement. Et les coûts multidimensionnels (cognitifs, monétaires, organisationnels…) pour briser cet autorenforcement sont connus pour être prohibitifs.

Dans la deuxième partie de l'analyse, au cœur de la transition, nous parlons de renversement de dépendance au sentier, que nous considérons comme un pilier de la transition. Il peut s'agir d'un renversement partiel ou total. Ce qui théoriquement laisse place à une cohabitation de plusieurs agricultures, à une mosaïque dont la complémentarité des pièces serait la principale caractéristique.

Contribution sociétale

Eu égard de la mission de la chaire MRA, nous tirons, en troisième et dernier lieu des **enseignements** (Première partie) ou **des pistes** (Deuxième partie) en matière de management des risques en agriculture. Nous continuons à nous poser la question de savoir en quoi ces innovations ont contribué à mieux gérer, prévenir les risques individuels, collectifs ; tout en étant vigilants aux risques émergents, inhérents à l'innovation et au contexte actuel de changement climatique et de mondialisation accrus…

Encadré n°1 : *L'essentiel de l'approche par la dépendance au sentier*

L'approche par la dépendance au sentier démontre la possibilité pour une « manière de faire » (technologie) désignée et/ou reconnue inefficiente de perdurer sur le long terme, même en présence d'une meilleure alternative. Un des apports de cette théorie, est d'alerter en tenant compte de l'histoire que : « **la manière de faire inefficiente à un temps t, ne l'avait pas toujours été**. Entre le temps où elle a été déployée et celui où elle est décriée, un mécanisme d'auto-renforcement avait pu s'opérer à des degrés divers ». (Arthur 1989, Randrianasolo 2010, Meynard 2021). Cette démonstration s'avère utile dans une atmosphère de transition, avec en filigrane des coupables désignés, dont le risque majeur est d'induire la société en erreur sur les moyens nécessaires pour renverser l'autorenforcement et *in fine* développer la transition.
Par ailleurs, cette notion suppose que la connaissance d'une solution performante – que celle qu'on a retenue – à un instant t, **n'implique pas nécessairement et automatiquement l'adoption de celle-ci**. Ce qui nécessite une intentionnalité.
L'approche permettra de mieux caractériser l'évolution de l'agriculture, en y distinguant différentes situations, différentes cohabitations selon les filières :

• Autorenforcées (renversables sans un coût trop élevé…)
• Autorenforcées et verrouillées (coût de renversement élevés, prohibitifs ; il n'y a pas, cependant, lieu de chercher Le coupable…)
• À équilibre instable (Sensibles à la contingence et incompatibles à la prédiction).

Les transitions sont, ainsi, des renversements de dépendance au sentier, tant au niveau des pratiques que du système sociotechnique. Comme la dépendance au sentier est graduelle, son renversement l'est tout autant (Randrianasolo, Dubois, Sauvée 2023). Ce renversement est, parfois, sensible à la contingence. *« Il fallait une Guerre contingente en Ukraine pour que la France, l'Europe voient d'une autre manière la question de l'énergie, la question de la durabilité, de la souveraineté en intrants (…) en relation avec l'agroécologie »*. La distinction permise – par les différents degrés, profils de dépendance au sentier et donc de degrés de transitions – contribuera à accroître la qualité de l'analyse déployée par la chaire MRA.

I - AVANT l'institutionnalisation de la transition environnementale et numérique de l'agriculture française

Dans un contexte agricole, ce que nous appelons la « grande rupture », et qui a commencé depuis environ 20 ans, représente une transformation qui dépasse largement toutes les ruptures et/ou révolutions techniques agricoles des siècles précédents. Pour préciser cette analyse, nous devons signaler que pour la France, elle avait eu lieu tardivement – en particulier après le Royaume-Uni, les Pays-Bas, la Belgique, l'Allemagne et probablement l'Italie, voire l'Espagne – *et* seulement à partir de 1946.

En effet, depuis l'ère romaine jusqu'à 1940, les rendements agricoles en grandes cultures ont très peu changé ; ce qui a changé, dès le XVIIIe siècle, c'est que les rendements ont été approximativement conservé tout en supprimant la jachère qui pouvait représenter jusqu'à 30% des

surfaces. Dans les époques anciennes des rendements de 15 quintaux à l'hectare étaient déjà classiques. C'est à partir de 1946, jusqu'en 2000 à peu près, que les changements vont apparaître avec des rendements moyens augmentant de 1,5 quintaux par an durant les trente premières années, puis un quintal par an pendant environ une dizaine d'années, pour progressivement se stabiliser et cela depuis environ 10-15 ans.

La rupture : Une baisse SANS équivalent du nombre d'actifs couplée à une hausse CONSIDERABLE des volumes de production

À l'époque, c'est-à-dire avant la seconde Guerre Mondiale, les acteurs producteurs en agriculture, en France étaient de l'ordre de 10 millions. Ils ne dépassent guère 650 000 en 2021. *Cette diminution régulière, constante en pourcentage et néanmoins massive,* du nombre d'actifs dans un secteur économique important, de fait le secteur de base de l'autonomie d'un pays, n'a pas d'équivalent dans l'histoire agricole française. Car parallèlement, les volumes agricoles produits ont considérablement augmenté. Malgré une déprise de l'agriculture sur le territoire, passée de 35 millions d'Ha à moins de 29 millions aujourd'hui, les volumes ont énormément augmenté avec des rendements moyens en grande culture passés de 15 quintaux équivalents céréales par ha à plus de 70.

Une mutation unique depuis le néolithique

L'agriculture française produit en moyenne quatre à cinq fois plus avec 15 fois moins d'actifs. La productivité, en quantité, par actif a donc globalement été multipliée par 70. Ces données sont bien connues, mais notons néanmoins que c'est une mutation unique dans l'histoire de l'agriculture depuis le néolithique. On insiste sur la baisse parallèle relative forte de la valeur des produits agricoles. Il ne pouvait en être autrement, car l'élévation globale du niveau de vie durant cette période implique que la valeur relative de la production agricole baisse par rapport à la production globale et donc que le prix relatif des produits agricoles baisse, même si les revenus par agriculteur doivent augmenter (moins vite que leur volume de production). En effet tous ces actifs qui ont quitté l'agriculture ont travaillé dans tous les autres domaines.

Maximum atteint, risque de décroissance de la production ?

Pendant cinquante ans, les rendements moyens en grande culture ont

cru, en moyenne, de plus d'un quintal par an. On constate des évolutions similaires dans toutes les productions agricoles. Aujourd'hui, en valeur, l'exportation nette agricole représente de l'ordre de 20% de la production. Mais en proportion du PIB, la valeur de la production a baissé à tout juste 4% du PIB. Les prix agricoles ont donc très fortement baissé et la part de l'alimentation, en comprenant les services associés (packaging, produits finis, etc.), ne dépasse pas 13% des dépenses totales des Français (en incluant les dépenses encadrées de santé *qui se sont stabilisées*). Ces données se comprennent bien dans le contexte global d'un enrichissement considérable du pays, les citoyens disposant de revenus leur permettant un nouveau genre de vie et des possibilités d'affectation de leurs revenus dans de nouveaux domaines. Cependant, nous disposons aujourd'hui de nombreuses informations qui suggèrent l'atteinte d'un maximum et le risque même d'une certaine décroissance de la production.
Par exemple, la croissance globale de la production quantitative agricole est quasiment arrêtée depuis maintenant une dizaine d'années, même si des analyses fines montrent que la productivité agricole (production par actif) continue de croître et que des changements se poursuivent, par exemple la diversification des activités des exploitations agricoles.

Les trois faits marquants d'avant l'institutionnalisation de la transition

On peut caractériser, de façon synthétique, cette évolution par l'analyse de trois fondements dominants de cette transformation (les faits marquants) qui nous permettent de comprendre aussi les enjeux à venir, notamment la transition environnementale et numérique au cœur de ce livret.
*-La chimie au service de l'injonction « Il faut nourrir le monde »
*-Le travail du sol, un pilier supposé de la productivité ?
*-La sélection, l'amélioration des plantes et l'importance de la génétique.

Fait marquant n°1 - La chimie au service de l'injonction « Il faut nourrir le monde »

L'importance de la chimie dans la production agricole totale française est devenue et reste très importante. Ce n'est pas une spécificité française, c'est devenu global, planétairement parlant. Dans cette analyse, nous notons trois grands domaines.

Premier domaine : les engrais de synthèse

Ces engrais sont majoritairement les engrais azotés issus de la réduction de l'azote de l'air par le procédé Haber-Bosch. Il s'agit d'une réaction de réduction, ce qui dans l'ambiance oxydante globale de la planète est toujours une réaction très coûteuse en énergie.

Encadré n°2 : *La fixation biologique de l'azote ou l'engrais azoté naturel*

Le diazote de l'air réunit par une triple liaison chimique deux atomes d'azote, son niveau d'oxydation est donc très élevé. La fixation de l'azote, c'est-à-dire, chimiquement, sa réduction, est réalisée naturellement par des bactéries dotées du régulon NIF (NItrogen Fixation) comportant 7 opérons génétiques capables de synthétiser les enzymes réalisant cette fixation, à condition d'avoir une source énergétique généralement apportée en symbiose par les légumineuses, qui est donc l'énergie de la photosynthèse.

Le procédé Haber-Bosch est coûteux en pétrole. Pour chaque kg d'azote utilisable en agriculture, il faut consommer environ un litre de pétrole ; plus exactement, 45 GJ par kilogramme d'azote.

Une optimisation affinée

L'usage de ces engrais ne semble pas être globalement remis en cause, mais son optimisation s'affine aujourd'hui. L'usage des engrais de synthèse, qui est une donnée mondiale (de l'ordre de 100 millions de tonnes par an), a pour conséquence une transformation globale planétaire des cycles de l'azote (Galloway et Cowling 2002), puisque l'apport d'azote réduit (ou fixé) a désormais doublé.
Par ailleurs cela met la production agricole sous dépendance du pétrole (Harchaoui et Chatzimpiros 2018a), ce qui ne peut pas être durable. On peut estimer qu'en 2020, de l'ordre de 50% de la production agricole mondiale est le résultat de l'usage des engrais azotés. Notons que nous n'avons pas de remplacement facile à mettre en œuvre, même si des pistes sont explorées activement (Soumare et al 2020).

Deuxième domaine : les produits d'extraction minière

Notre analyse considère principalement les phosphates, qui consistent en l'extraction de stocks non renouvelables. Même si les stocks restent relativement importants par rapport aux besoins annuels, le nombre de sites mondiaux d'extraction est limité (les deux tiers des réserves mondiales sont au Maroc) et le recyclage des phosphates devient une

nécessité (Liu et al 2008).
Là aussi, de nombreuses recherches sont en cours, car seuls 50% des phosphates sont recyclés à ce jour, soit 10 millions de tonnes par an qui sont déversés dans la nature.

Troisième domaine : les produits de protection des plantes

Ces produits dits phytosanitaires sont classables en trois grandes catégories dominantes (fongicides, insecticides, herbicides). Ils sont issus de la chimie fine (à base de pétrole) et demandent une recherche soutenue.

Si en tonnage, on est ici dans des volumes beaucoup plus faibles que précédemment, il est un fait que la croissance de production, autrement une densification de la production par ha, favorise l'émergence de prédateurs et de pathogènes, de même que toute concentration de population conduit à des risques épidémiologiques accrus.

La tendance actuelle est à la spécialisation des phytosanitaires, mais aussi au retrait des phytosanitaires posant de problèmes environnementaux. Ce retrait s'est accéléré depuis 15 ans au point que certaines « attaques » ne peuvent plus être contrôlées ce qui a pour conséquence d'accroître les risques, en termes de volume de production.

Analyse : Portée de l'innovation ? Quels développements ?

L'ensemble de la chimie est responsable, d'au moins 50% de la croissance des rendements planétaires, entre 1946 et 2000, soit de l'ordre de 25-30 quintaux à l'hectare.
Notons que, dans le cadre du système alimentaire français actuel, sans ces apports, globalement, l'agriculture française serait déficitaire (baisse d'environ 40% des volumes, ce qui correspond à un montant en valeur bien supérieur à l'excédent actuel de la balance commerciale agricole).
Des auteurs montrent que la croissance globale planétaire de la production agricole grâce à ces innovations, a permis de suivre la croissance démographique mondiale, et que, en leur absence, nous serions certainement au moins 3 milliards de personnes en moins sur la planète.

Analyse : Quelles dépendances au sentier ? Le début de l'institutionnalisation de la transition ?

La dépendance au sentier est très forte, l'industrie des engrais azotés initialement prévue pour fabriquer des explosifs, trouvait des débouchés immédiats en temps de paix. La croissance continue des populations exige ces engrais, car les surfaces disponibles manquent.

Encadré n°3 : *Du côté de la recherche…*

De surcroît, peu de chercheurs, encore maintenant, travaillent sur des projets de remplacement beaucoup plus compliqués car nécessairement fondés sur la promotion de la réduction naturelle de l'azote et donc sur les légumineuses. Cela fait maintenant quarante-cinq ans que des équipes internationales travaillent sur la fixation biologique de l'azote avec l'idée de rendre d'autres espèces végétales fixatrices. En 1978, une équipe française, internationalement intégrée dans le sujet, s'était donnée 10 ans pour y arriver…
En 2018, Buren et Rubio ont fait le point sur l'état de l'art en ingénierie de la fixation biologique de l'azote en estimant que ce rêve n'était plus impossible, mais demandait néanmoins quelques prouesses en biotechnologie.

Aujourd'hui, remplacer les engrais azotés, revient à trouver de la fumure ou à cultiver les légumineuses. Les légumineuses, par leur symbiose avec des bactéries fixatrices d'azote, étaient historiquement la source d'azote réduit, utilisable par les plantes, à environ 85% ; 10% revenant à des bactéries non symbiotiques et 5% aux orages. Mais justement, **le choix collectif de la chimie a conduit à une faible recherche** sur l'usage des légumineuses dont les rendements restent faibles (c'est le cœur de la dépendance au sentier, le début de la conscience de la transition).

Des solutions de remplacement coûteuses et des verrous effectifs

Aujourd'hui l'azote réduit par l'industrie correspond à plus de 50% de l'apport global planétaire. Les solutions technologiques de remplacement s'avèrent coûteuses, très exigeantes en compétences techniques et sans garanties ; si elles demandent de la biotechnologie, il faudrait au préalable supprimer des verrous non techniques mais culturels et réglementaires.

Le binôme « céréales – soja » a été choisi par les États-Unis d'Amérique, qui disposent d'immenses surfaces, l'agriculture française se mettant pour des raisons politiques en état de dépendance des tourteaux de soja états-uniens puis brésiliens.

En ce qui concerne la France, sortir de cette dépendance va demander des trésors d'ingéniosité et un changement structurel profond qu'il

s’agisse des engrais, des produits phytosanitaires, du labour, du développement des légumineuses et finalement de tout le système de production. La dépendance au sentier est ici maximale : scientifique, technique, réglementaire, culturelle.

Enseignements en termes de management de risques en agriculture

De fait, la réussite agricole française des années 1946 à 2005, soit 60 ans, est indéniable ; la production a été multipliée par 4,6 avec un nombre d’actifs divisé par 15,4. Ce qui revient à une productivité du travail direct multiplié par plus de 70. On devrait la tempérer en tenant compte des temps passés à la conception et la production des matériels, celui des produits chimiques, des variétés nouvelles. Mais il reste que l’agriculture reste le fondement de l’autonomie alimentaire. Et jamais les Français n’ont connu une telle abondance alimentaire, une victoire contre le risque de malnutrition, de famine, de pauvreté extrême, de manque de protéines, simplement, contre le risque de perte de vies humaines.

L’ensemble du processus a conduit à une transformation radicale de l’agriculture puis de l’économie française ; et le risque, finalement se montre à la hauteur du succès. Car aujourd’hui, s’il s’agit de tout revoir, c’est parce que le succès est tel qu’il a fini par poser problème, face aux ressources disponibles ; les choix pris montrent que cette orientation n’est pas durable autant en termes de ressources qu’en termes d’impact sur l’environnement. Aussi, une transformation du modèle s’avère nécessaire pour la poursuite d’une production aux mêmes niveaux. Du point de vue des écologistes, on évoque un modèle agricole qui a conduit à une impasse. De fait c’est un succès qui a répondu aux exigences de l’époque, mais les conséquences globales sont de n’avoir pas posé le risque du succès, c’est à dire d’une croissance des populations et des économies à un point trop élevé par rapport aux ressources naturelles. Le développement lui-même est une condition qui conduit à des risques. Les conditions changent désormais, l’environnement est transformé, et un vrai défi s’est annoncé : d’où la nécessité d’une transition !

En termes de management des risques sur le moyen terme, c’est-à-dire sur le demi-siècle, on peut davantage parler de succès indéniable. De manière générale, l’agriculture a su faire face à des variations environnementales comme jamais auparavant. Par contre sur le long terme de nouveaux risques s’annoncent, réels et, dans certains cas, anxiogènes. S’il faut revoir à la baisse les objectifs de production, ou si l’agriculture se trouve face à des difficultés nouvelles (changement

climatique, modification des cycles de l'azote, du carbone, du phosphore), des risques nouveaux peuvent apparaître : hausse des prix alimentaires, disettes, diminution drastique de l'élevage, etc.

Fait marquant n°2 – Le travail mécanique du sol, un pilier supposé de la productivité ?

Le travail du sol, c'est fondamentalement le labour puisque tout le travail qui suit le labour a pour intérêt de préparer et de réaliser les semis. Par le labour mécanique, plus rapide, plus profond, on permet le transfert en profondeur des matières organiques et une destruction, dans l'immédiat, des adventices, mais également de la faune et de la flore des sols. Finalement, il semble qu'il ait apporté beaucoup moins que les différents produits chimiques et les semences, même s'il en était la contrepartie (Fiorini et al. 2022 ; Chabert et Sartout 2020).

Encadré n°4 : *Un questionnement issu de l'observation*

Après quelque 70 ans de labour intensif, mécanique et motorisé, succédant à des siècles de labours, souvent moins profonds et demandant le maintien d'une puissance animale, il semble que sa maintenance avec le développement des produits phytosanitaires et des semences, est d'abord un exemple typique de la dominance de la dépendance du sentier (voir infra). Une question se pose : « Est-ce une dépendance qui relève au moins autant, sinon davantage, de l'habitude, de la résistance culturelle et du choix **très humain** d'une simplification dans l'activité, que de problématiques techniques ? »

In fine, la vraie innovation : la mécanisation

On a pensé que le labour mécanique était une nécessité dans une approche de maximisation de la production et surtout dans un contexte de minimisation des rotations jusqu'à de quasi monocultures. Or la nécessité de sortir de la dépendance aux énergies fossiles, permet de comprendre que ce labour systématique s'insérait dans un système de production. La vraie innovation de la transformation de la production n'a pas été le labour, **mais sa mécanisation.** Cela libérait les surfaces nécessaires pour le maintien de la puissance animale. Avant cette révolution un tiers des surfaces étaient dédiées à la maintenance de la puissance animale. On remplaçait un tiers des surfaces dédiées au maintien de la puissance animale nécessaire à la production finale, celle-ci était alors affectée directement à l'alimentation animale pour la consommation finale, d'où l'accroissement de la consommation de

viande. Mais ce faisant, on modifiait radicalement le rapport à l'énergie, les énergies fossiles devenant encore plus nécessaires, et l'alimentation carnée devenant le verrou de la dépendance au sentier (Harchaoui et Chatzimpiros 2028b).

Analyse : Portée de l'innovation ? Quels développements et dépendances au sentier ?

Le travail du sol, finalement, n'est plus une innovation, tout au moins au milieu du XXe siècle. C'est la dépendance au sentier – venant du début de l'agriculture avec le bâton fouisseur puis l'araire et finalement le labour en absence de toute action chimique sur les insectes, les champignons, les adventices – qui a conduit à le maintenir. En revanche, la mécanisation et l'apport de puissance par le tracteur ont libéré des surfaces pour la production agricole et permis une croissance spectaculaire, jusqu'à la fin des années 1990, de l'alimentation carnée et des produits laitiers. Cette transformation du système de production produit une forte dépendance au sentier.

Le labour pouvait être supprimé avec l'arrivée des herbicides, c'est-à-dire dès le début des années 1970. Une histoire du glyphosate dans les années 1970 et au début des années 1980 devrait être réétudiée, quand certains chercheurs de l'INRA demandaient qu'il devienne un bien commun et soit « débreveté » tant il semblait un « produit miracle ». Il est possible que l'histoire retienne que le choix de Monsanto de proposer des OGM résistants au glyphosate a provoqué un double changement : le non-labour et l'usage constant du glyphosate sur des dizaines de millions d'hectares de monoculture. Cela a conduit à l'opprobre sur cette pratique et ce produit, ce qui est une autre lourde dépendance au sentier.

Encadré n°5 : *On aurait pu se passer du labour mais…*

Se passer du labour est déjà une pratique complexe, car cela implique un couvert végétal constant qui demande beaucoup de technicité et des techniques de semis direct spécifiques. Mais il demande aussi, ce qui peut être encore plus difficile, de faire sauter les pressions culturelles qui affirment que travailler le sol est LE travail de l'agriculteur. Des champs propres et sans culture, avant les semis, sont une preuve de « travail ». Labour et travail sont synonymes en français, mais le sens original est bien *Labor*, *lavor*. Travail vient d'un objet de torture et labour vient juste du mot *labor* qui signifie travail.
Avec la chimie, la génétique et de nouvelle pratiques agronomiques, il semblerait qu'il n'y ait plus grand-chose qui justifie le labour, sinon le besoin de mécanisation et donc l'usage d'un tracteur puissant. Même s'il y a d'autres raisons qui justifient le tracteur, l'absence de labour diminue fortement le **besoin de puissance**. Mais plusieurs forces concourent toujours au maintien du besoin d'un tracteur surpuissant : les défiscalisations, le soutien bancaire au crédit, le symbole de l'agriculteur moderne.

Logiquement c'est durant les années 1970 que le non-labour aurait pu s'installer et que la construction basée sur des herbicides divers et une sélection génétique adéquate aurait pu l'éliminer en entraînant un changement radical dans l'évolution des tracteurs. Cela aurait donné lieu à une autre forme d'agriculture avec des rendements probablement voisins de ceux atteints aujourd'hui mais avec une agriculture plus complexe et surtout un retour sur l'investissement énergétique (EROI) encore supérieur. D'après Harchaoui et Chatzimpiros (2018b), l'EROI actuel de l'agriculture est quasi optimisé. Mais les deux auteurs n'ont pas imaginé un changement radical de système de production limitant voire supprimant quasi totalement le labour, ce qui conduirait à un système de production plus complexe, des rotations plus longues, des doubles cultures et des intercultures intégrant systématiquement des légumineuses limitant ainsi l'apport d'engrais azotés. La dépendance au sentier aveugle même les meilleurs chercheurs.

Les multiples dépendances au sentier sont donc aujourd'hui le premier facteur d'immobilisation de l'agriculture. Elles résultent d'un choix entre deux façons de faire, à un moment donné, qui s'est autorenforcé… En matière de dépendance au sentier, la complexité recueille un consensus élevé, se traduisant notamment par la complexité des solutions à mobiliser. À date, la science suggère une piste éprouvée : les renverser ; mais emprunter le chemin de la transition ne peut être le fait d'un seul acteur, n'est pas de la responsabilité d'un seul acteur. Ce sont des choix collectifs, autrement dit des choix à connotation politique.

Enseignements en termes de management de risques en agriculture

L'arrêt du labour et la réflexion centrée sur la génétique et la transformation des méthodes de semis a été perçue à l'époque du développement de la chimie fine pour l'agriculture comme un risque trop élevé, ce qui demanderait une recherche historique et sociotechnique à rebours de ce qui est proposé actuellement. Garder le labour rendait la culture moins systémique, plus facile transmettre et le conseil technique plus facile. Finalement la poursuite du labour et l'absence de recherche sur des conditions de semis plus techniques est un exemple de refus du risque et du changement alors que l'époque l'aurait permis.

Aujourd'hui, on constate qu'arrêter le labour demande un niveau technique plus élevé. Et il est possible que le niveau de formation des agriculteurs de l'époque ait empêché de prendre un tel risque, même avec des herbicides.

L'enseignement principal est que l'habitude, l'installation dans une certaine zone de confort créant une forme de « paresse » collective intellectuelle, un niveau de formation insuffisant, et la pression sociale sur la représentation du « travail bien fait » peuvent empêcher des prises de risque qui auraient pu changer toute l'agriculture, car la recherche sur les herbicides les plus divers aurait alors été beaucoup plus poussée.

L'autre enseignement est que, finalement, ce n'est pas la charrue qui est le deuxième fait marquant en termes d'innovation, de cette période, c'est le machinisme agricole c'est-à-dire l'association de la mécanisation et de la motorisation. C'est elle qui a entrainé une croissance vertigineuse de la productivité du travail agricole, associé à une consommation croissante de pétrole dont l'agriculture est devenue dépendante.

Le machinisme a commencé dès la fin du XVIIe siècle, mais la motorisation et l'invention du tracteur est la vraie innovation de rupture qui s'est répandu en France à partir de 1946, entrainant dans son sillage un élargissement du labour (charrue Brabant à multiples socs), ce qui exigea un accroissement de puissance considérable, et la mécanisation de chaque étape des activités agricoles. Mais la charrue est l'exemple en creux, ou contre-exemple, où la dépendance au sentier peut avoir empêché des innovations au moment même où tout semblait possible.

Fait marquant n°3 – La sélection, l'amélioration des plantes et la génétique

Le début de la sélection et l'amélioration des plantes comme activité économique est célébrée en France avec la création de l'entreprise Vilmorin en 1743 spécialisée en acclimatation de plantes exotiques et en production de semences. Elle s'est poursuivie sur plusieurs générations de passionnés de botanique et de créateurs de variétés d'abord ornementales puis potagères et de grande culture.

C'est donc une vieille histoire et de nombreuses autres familles dès la fin du XVIIIe siècle et au XIXe siècle ont créé des entreprises de sélection dont les noms de marque existent encore aujourd'hui comme Tézier en 1785 (maraichage), Desprez en 1830 (betterave), Meilland – Richardier en 1867 (Roses), Clause en 1892 et Truffaut en 1897 (horticulture), Delbard en 1936 (rose), Limagrain en 1965 (grandes cultures).

Tous les pays européens, les États-Unis puis le Japon connaissent des

évolutions similaires. Les créateurs d'entreprises de semences ont été des agriculteurs ou des passionnés de botanique.

Mais l'expansion de l'activité des semences à grande échelle en France commence après 1946 au point de devenir à la fin du XXe siècle et au début du XXIe siècle un fleuron « industriel » dont la balance commerciale est largement bénéficiaire. La France est encore aujourd'hui le premier pays exportateur de semences.

Analyse : Portée de l'innovation ? Quels développement et dépendances au sentier ?

On considère généralement que la sélection variétale associée à la croissance des connaissances en génétique a participé à la moitié de la croissance des rendements de l'activité agricole de 1946 à 1990, c'est-à-dire à la quantité produite par hectare, approximativement à égalité avec la chimie, c'est-à-dire les engrais et les phytosanitaires (Traitler et al. 2017).

On voit que la dépendance au sentier remonte très loin, jusqu'au XVIIIe siècle, les racines venant de l'amélioration des plantes par les agriculteurs eux-mêmes qui trouvaient un intérêt à acheter les semences plus productrices, déjà calibrées et fertiles. Le risque du semis était évacué.

Mais cette dépendance au sentier s'est peu à peu accrue par une réglementation de plus en plus drastique dans le but de protéger les agriculteurs de semences défectueuses et de favoriser la création variétale.

Enseignements en termes de management de risques en agriculture

La France est le pays pionnier dans la législation de la protection des créations variétales. À son initiative, est créée à Paris, lors d'une « conférence diplomatique », le 2 décembre 1961, l'**Union Intergouvernementale pour la protection des obtentions végétales**, (**UPOV)**. La France est toujours actuellement le premier producteur et exportateur mondial de semences commercialisées, car elle est devenue un modèle dans l'organisation autonome de la validation des nouvelles variétés et dans la production des semences de grande qualité par des agriculteurs spécialisés.

La Convention a été révisée en 1972, en 1978 et en 1991 pour la mise en œuvre obligatoire d'un Certificat d'obtention végétale (COV). 65 pays ont signé cette convention. Son but officiel est de protéger l'obtenteur mais aussi l'agriculteur. Car une semence n'est certifiée que si elle peut garantir : l'état sanitaire de la semence, sa pureté spécifique, sa pureté variétale et sa faculté germinative. Ces exigences sont des barrières technologiques effectives et éliminent de fait les « variétés paysannes » peu « pures », peu homogènes et au taux de germination non garanti.

Il s'agit ici d'un management de minimisation des risques qui oblige à un travail spécifique dans la production des semences laquelle devient, de fait un véritable métier. Les multiplicateurs deviennent des agriculteurs spécialisés. La dépendance au sentier devient extrême. Même si la législation s'est désormais assouplie et que des semences non certifiées, « paysannes », peuvent désormais être commercialisées, au risque des agriculteurs acheteurs, le taux de confiance vis-à-vis des semences certifiées par le système français mis en place reste très fort dans le monde agricole français et international. L'adoption par un pays du système des semences certifiées est toujours considérée comme un progrès, par exemple, actuellement, en Afrique.

Le système de protection des variétés associé à une organisation mondiale de protection des variétés créées peut être considéré comme un système de minimisation des risques du semis.

Néanmoins le gain apporté à l'agriculteur par la sélection montre un effet pervers : la focalisation de la recherche sur un nombre faible d'espèces, ce qui conduit au concept de « espèces technologiquement orphelines » (Traitler et al 2017). Par exemple l'avoine ou la lentille ne bénéficiant pas de telles recherches, leurs rendements restent faibles, ce qui attire peu les agriculteurs à les utiliser selon une logique de diversification. La dépendance au sentier s'accroît ainsi chaque année.

II - AU CŒUR de l'institutionnalisation de la transition environnementale et numérique de l'agriculture française

L'histoire en cours semble suggérer la possibilité d'une bifurcation, d'un renversement significatif de la dépendance au sentier. Autant la mutation qui a eu lieu entre 1946 et 2010 a été dirigée par les institutions et a conduit à une baisse très forte du nombre des exploitations agricoles et de la population des actifs agricoles, autant cette nouvelle mutation va

voir le nombre d'agriculteurs et d'exploitations agricoles se stabiliser avec une hétérogénéité très forte de la taille des exploitations agricoles en termes de surface. Un vœu, ou tout au moins, une question se pose : « *Va-t-on assister au retour d'une forme de leadership ou à minima d'appropriation volontaire de cette transformation par les agriculteurs ?* »

Dans la continuité de notre analyse, nous formulons une hypothèse hautement probable, en deux points :

- La valeur de la production sera déconnectée de la surface et sera liée davantage à la nature des productions et à l'implication des agriculteurs dans la première transformation ou dans la diversification. *L'exploitation agricole va multiplier ses fonctions.*
- On peut s'attendre à une baisse relative et continue de la production animale et à une augmentation relative de la production de protéines végétales, jusqu'au niveau ou la production animale sera limitée aux terres qui ne permettent pas de production végétale pour la consommation directe.

Une ère des « Soft skills » ou « compétences générales et/ou transversales »

Le niveau de compétence des agriculteurs sera beaucoup plus élevé et, entre autres, il conviendra alors de :

- Soutenir la capacité d'entreprendre et de travailler en collaboration.
- Et de favoriser toute forme de partenariat et d'associations d'agriculteurs qui partageront les mêmes objectifs techniques et commerciaux.

Notons la nécessité d'accompagnement et de formation continue de tous les agriculteurs, en fonction de leurs besoins autant liés aux conditions locales qu'au projet commercial affiché.

Agriculteurs-chercheurs-entrepreneurs : un nouveau profil ?

Le nombre d'agriculteurs en posture de R&D croît actuellement. Il est de plus en plus courant de voir des agriculteur consacrant 3-4% de leur surface à des essais.

Une recommandation est formalisée : Le « crédit impôt recherche » devrait être ouvert aux agriculteurs… De manière générale, la prise de risque et son management doivent être systématiquement mis en place en remplacement de toute défiscalisation pour investissement, souvent inconsidéré.

Fait marquant n°4 – Minimiser la dépendance aux énergies fossiles

Même si Harchaoui et Chatzimpiros (2018a, 2018b) ont montré que l'EROI et les rendements ont atteint une sorte de maximum, et que l'électrification de l'agriculture a des limites « indépassables », on peut s'attendre **à une augmentation de ces trois paramètres**, mais à partir de nouvelles voies qui ne sont pas déductibles directement de l'état des lieux.

Analyse : Portée de l'innovation ? Quels développements et renversements de dépendance au sentier ?

Il ne s'agit pas d'une seule innovation mais d'une grappe d'innovations, directement liées aux nouvelles technologies et aux transformations de l'organisation de la production agricole.

Encadré n°6 : *L'essentiel du concept de « grappe d'innovations »*

Ce concept a été créé par Joseph Schumpeter. **Il fait référence à toutes les innovations découlant ou associées à une première**. Par exemple, la création du réseau Internet ou l'invention des semi-conducteurs sont des innovations qui ont permis des milliers d'autres innovations. Toutes ensemble, ces dernières représentent une grappe d'innovations. Ce sont donc des innovations multiples reliées les unes aux autres.

Notre recherche en a distingué six, à savoir, l'énergie photovoltaïque, les petits méthaniseurs et petits éoliens en association avec les méthaniseurs désormais bien rodés, une nouvelle utilisation du sol, l'irrigation sous contrôle numérique, la miniaturisation des outils, et comme évoqué plus haut, une production animale corrélée aux surfaces.

Encadré n°7 : *Caractéristiques de 6 technologies, constitutives de la grappe d'innovations*

1. Énergie photovoltaïque. Elle est en pleine mutation et ne concerne pas que son usage sur des surfaces déjà artificialisées (hangar, etc.). Les panneaux photovoltaïques recyclables, mobiles – orientables, multifonctionnels, en hauteur et couvrant les cultures permettront à la fois d'apporter de l'électricité à usage local, de protéger les cultures du gel, de la grêle, de l'évapotranspiration excessive et d'optimiser l'activité photosynthétique tout en permettant le passage des machines plus compactes.
2. Petits méthaniseurs et petit éoliens pourront soutenir la capacité de production énergétique à but local, à côté des méthaniseurs déjà bien implantés en France.
3. L'utilisation continue du sol, le semis direct et le non labour, assistés par une utilisation minimale d'herbicides, permettront une baisse des consommations énergétiques mécaniques et l'usage de légumineuses limitera les apports d'engrais azotés.
4. L'irrigation sera optimisée et contrôlée par des outils numériques.
5. La miniaturisation des outils (robots) devra à terme limiter aussi les consommations énergétiques, car elles viendront de la production locale.
6. La production animale sera spécialisée aux surfaces qui ne permettront pas de culture.

Ces innovations pourraient bousculer les analyses réalisées à partir des données classiques de la production agricole. La diversité des productions s'accroîtra et les capacités de stockage devront être accrues pour permettre aux agriculteurs de gérer la commercialisation de leur production.
Ces innovations seront issues de croisements de connaissances, de compétences, et d'exaptation/transpositions venus d'autres domaines. Est-ce qu'elles auront le potentiel de renverser les dépendances au sentier de l'agriculture précédentes, lesquelles sont désormais bien identifiables (*cf.* ci-dessus) ?
Le fait marquant n°8 complète cette analyse.

Pistes en termes de management de risques en agriculture

Le management du risque deviendra une composante à part entière du métier d'agriculteur. Il devra s'assurer comme n'importe quel producteur contre les aléas, les incidents imprévisibles, les accidents, la malveillance, le vol.

Un des risques, et on le retrouvera pour tous les « faits marquants à venir », sera le manque de compétences en soutien et accompagnement. Une formation soutenue des métiers de conseiller agricole devient une nécessité pour les dix années à venir.

Fait marquant n°5 – Une approche en alliance avec la nature

Qu'il s'agisse d'agriculture de régénération, d'agriculture du vivant, d'agriculture de conservation des sols, d'agriculture biologique, de

permaculture, d'aquaponie, ou de productions spéciales (spiruline, chlorelles, etc…), le plus important sera la posture d'alliance avec la nature, la production de biodiversité, et l'adaptation au plus près des conditions locales. L'agriculteur deviendra un inventeur, innovateur, bricoleur, qui écoute le vivant et s'appuie sur son potentiel.
Il ne s'agit plus de lutter contre la nature mais de s'appuyer sur son potentiel. Ne pas lutter contre les adventices mais travailler au couvert végétal le plus performant ; associer des végétaux plutôt que chercher l'uniformité. Déjà certains se plaignent du manque d'intérêt des chercheurs pour leurs travaux.

Analyse : Portée de l'innovation ? Quels développements et renversements de dépendance au sentier ?

Les dépendances au sentier déjà ouvertes sont bien connues et relèvent des techniques de semis direct dans du couvert végétal permanent.

Aussi l'alliance avec la nature serait une innovation majeure qui fait passer la maîtrise technique et la perception du vivant avant la connaissance scientifique.

Encadré n°8 : *Du côté de la recherche, un changement de posture ?*

Selon Conti et al. 2021, l'argument – selon lequel le cadre institutionnel de la recherche agricole, en particulier, publique crée un verrouillage qui soutient des trajectoires de recherche elles-mêmes, dépendantes du sentier, mal alignées à la transformation des systèmes agricoles et alimentaires – est devenu central dans la compréhension des défis reliés au changement.
Les chercheurs devront-ils, ainsi, changer de posture et devenir des chercheurs qui apporteront des données en utilisant les développements des agriculteurs ? De même que la thermodynamique est apparue après la machine à vapeur, les nouvelles sciences agronomiques seront au service des producteurs.

Pistes en termes de management de risques en agriculture

On retrouve ici toutes les caractéristiques citées au fait marquant précédent. Des essais (R&D agricole) permettent de limiter le risque et devraient être valorisés (publications, crédit impôt recherche).

Fait marquant n°6 – Poursuite de l'amélioration génétique avec ou sans biotech

De fait l'amélioration génétique devra devenir générale et s'appliquer à

toutes les nouvelles cultures. C'est ici que les pouvoirs publics auront un rôle à jouer : promouvoir la recherche sur toutes les espèces orphelines techniquement parlant, sachant que les nouvelles technologies, dont il convient de faire la promotion permettront justement une accélération des améliorations pour ces espèces.
Ces actions devront être accompagnées au cas par cas, soutenues par la loi et les pouvoirs publics et accompagnées d'action de recherche en communications faites par des structures indépendantes.

Analyse : Portée de l'innovation ? Quels développements et renversements de dépendance au sentier ?

La portée de ces innovations est immense et peut conduire **à une diversification considérable de la production agricole** et son adaptation aux exigences nutritionnelles des populations.

Ces espèces seront reconnues pour leur intérêt nutritionnel et agronomique (légumineuses, etc.). La dépendance au sentier, souvent idéologique, pourra être une forme de résistance à ce changement. Aussi, son renversement ne pourra faire l'économie d'un investissement conséquent en éducation, en communication, en publication.

Pistes en termes de management de risques en agriculture

Toutes ces cultures devront être accompagnées d'expert formés à leur culture. Et depuis la publication de la loi du 2 mars 2022 d'orientation relative à une meilleure diffusion de l'assurance récolte en agriculture, et portant réforme des outils de gestion des risques climatiques en agriculture, la France dispose d'une opportunité institutionnelle, pouvant être mobilisée à très court terme.

Cette opportunité c'est la création de la Commission chargée de l'orientation et du développement des assurances garantissant les dommages causés aux récoltes (CODAR). En effet, au-delà de son rôle premier relié à la réforme de l'assurance récolte, cette structure réunissant les agriculteurs, les assureurs, les réassureurs et l'État a pour vocation de rendre possible une volonté jusque-là politique : « Toutes les cultures ont vocation à être assurables à terme ». La CODAR, compte tenu de sa gouvernance, offre l'opportunité d'échanger sur les nouvelles cultures, et de lancer les actions au bénéfice des leurs études et de leurs changements d'échelle, le cas échéant ; servent ainsi de façon « accélérée » la diversification et la résilience des exploitations agricoles.

Fait marquant n°7 – Adaptation et remédiation au changement climatique

L'interdépendance des secteurs économiques pouvant agir contre le changement climatique invite au déploiement de cinq actions en parallèle, à savoir, favoriser :

- les puits de carbone,
- les cultures résistantes à la sécheresse,
- les méthodes culturales maintenant un sol toujours couvert ;

Et mettre en place :

- des réservoirs d'eau,
- et un système de promotion des irrigations parcimonieuses en eau.

Dans le sens d'un changement de modèle au profit de la remédiation au changement climatique, l'approche bioéconomique qui va au-delà de l'exploitation de la biomasse est une piste, à creuser, d'autant plus qu'elle est associée, portée par les acteurs du « territoire » (Callois, 2022). Elle complète et renforce l'idée d'« alliance avec la nature » évoquée plus haut, dans le sens d'une *« transformation profonde des modèles économiques, pour construire des écosystèmes productifs assurant un bouclage efficace des cycles de matière et d'énergie, tout en minimisant les externalités négatives »* (IAR, 2022).

Analyse : Portée de l'innovation ? Quels renversements de dépendance au sentier ?

Ce fait marquant est associé aux autres et doit être attentif à renverser les dépendances au sentier, en particulier la résistance à la constitution de réserves en eau. Il doit à la fois être local et général. OBJET DE DOSSIER A PART

Pistes en termes de management de risques

Il faut reconnaître à ces actions leur intérêt pour l'abaissement des risques en agriculture, en particulier contre la sècheresse. Aussi, en conséquence il faudra à la fois promouvoir la nécessité de les assurer, avec des avantages spécifiques en termes d'assurance.

Fait marquant n°8 – Numérique et… robotique – Nouveaux modèles économiques

Tout d'abord, bien plus que toutes les autres technologies qui ont marqué le XXIe siècle, le numérique nous impose de nous rappeler d'une des principales caractéristiques de l'innovation : son ambivalence.

Cette ambivalence se retrouve, tout particulièrement, dans une dimension sociétale : l'innovation comme inclusive socialement, économiquement, territorialement ; et dans le même temps l'innovation peut exclure, conduire certains agriculteurs et territoires à décrocher etc. Par conséquent, identifier les deux faces, anticiper les effets positifs/négatifs devient un enjeu majeur.

On peut estimer qu'en absence de soutien ou de suivi, certains agriculteurs puissent perdre pied et être débordés par les exigences d'apprentissage incessant. De plus le numérique, de fait, est, à double tranchant. Il permet une traçabilité dont l'intérêt est indéniable : retrouver les données, l'origine d'un problème, etc. Mais cette traçabilité peut aussi permettre, si ces données ne sont pas complètement protégées, des possibilités de contrôle, voire de connaissance, pour ceux qui seraient capables de les croiser avec d'autres informations. Ce qui suggère un enjeu de pouvoir accessible par le contrôle des données.

Par ailleurs, la technologie numérique permet l'innovation en « bottom-up » mais aussi en « top-down », autrement dit par et pour les agriculteurs ou plus ou moins imposée aux agriculteurs. L'implication des agriculteurs dans la phase de conception est importante ainsi que dans la traçabilité des données et leur contrôle. Le risque de perte de pouvoir sur leur propre action doit être pris en compte.

Comme pour le fait marquant n°4, il s'agit d'investissement en matériel et la constitution de nouveaux parcs matériels assortis d'aides spécifiques et ciblées. Il s'agit ici de substitution d'un capital, d'outils, au travail.

Analyse : Portée de l'innovation ? Quelles dépendances au sentier ?

Plus généralement, ce fait marquant positionne l'agriculteur comme le décideur. Des formations devront être prévues avec calcul des retours sur investissement. Le numérique sera pensé comme outil de gestion et de prévision et non comme une mode obligatoire.
On observe, **typiquement**, un développement exponentiel des AgTech, ce

qui conduit à l'émergence d'un système d'innovation radicalement nouveau : nouveaux acteurs, nouvelles configurations (startups et GAFAM) ; nouvelles fonctions, en somme, une institutionnalisation de nouveaux modèles économiques.
Face aux innovations, *« faire pour apprendre et apprendre pour faire »* semble être devenue la règle :

- Apprendre à créer, à traiter et diffuser, à protéger ses données par exemple ;
- Apprendre à s'investir dans des canaux innovants et alternatifs d'achat et de vente de produits/services (les PF, le crowdfunding pour agriculture durable…) ;
- Apprendre à innover en exploitant l'association « technologie et l'organisation » qui a la caractéristique d'être « processuelle », c'est-à-dire jamais achevée, constamment en train de se faire et se défaire…

Ce qui renforce l'importance des dispositifs, pensés ex ante, de recherche-action comme les chaires.

Enseignements en termes de management de risques

Même si ce fait marquant doit être en interaction très forte avec les quatre autres, il convient de le considérer comme le cœur de la prise en main par l'agriculteur de la gestion et de l'orientation stratégique de son exploitation.

Il ressort de la dernière conférence organisée par la chaire MRA, que désormais la gestion du risque suppose de prendre en compte la dimension culturelle (voire psychosociologique) du risque (souvent sous-estimée).

Encadré n°9 : *De la prise en compte de la dimension culturelle*

Une caractéristique de la transition numérique contemporaine est de mettre en connexion de nouveaux acteurs (AgTech, consommateurs, citoyens, collectivités territoriales) qui ne se connaissent pas et dont les perceptions et appréhensions des risques sont fort différents
Ceci a pour conséquence des gaps cognitifs, des difficultés de gestion collective, et la nécessité de prendre du temps pour cette inter compréhension, voir pour co-construire cette vision commune des risques
Quels lieux (à inventer) d'interfaçage, quels dispositifs pour réduire des décalages ?
Prendre également en compte la dimension psychosociologique pour les risques climatiques ou les situations d'incertitude radicale.

Conclusion et perspectives

Au cœur de la transition environnementale et numérique de l'agriculture française, le concept d'empowerment (capacitation) revêt tout son sens et apparaît comme une tendance lourde affectant fortement les modes de gestions de risque.

Encadré n°10 : *« Empowerment » (capacitation) des agriculteurs*

Les outils et moyens numériques (données et OAD, PF, services numériques sur smartphone etc.) font entrer les agriculteurs dans une ère d'empowerment : ils disposent désormais (et surtout en ont conscience plus aigüe) davantage de possibilités de prendre en main leur destin économique.
Ainsi cela va de pair avec un vaste mouvement d'entrepreneuriat agricole et une certaine autonomisation des agriculteurs (ou au moins d'une frange d'entre eux, mais la plus dynamique et souvent leaders d'opinion).
Cela s'accompagne de nouveaux besoins : d'accompagnement, de formation, de conseil.
La notion de risque, prise au sens individuel et isolé de son contexte entrepreneurial, a de ce pont de vue d'autant moins de sens. La notion doit être au contraire appréhendée dans la globalité du projet entrepreneurial.

En termes opérationnels, (…) Il conviendrait de supprimer toutes les défiscalisations pour investissement mais soutenir par des assurances toute forme d'investissement qui a pour but de construire des modèles économiques souples et construits à la fois à partir des possibilités locales et à partir des objectifs commerciaux.
En s'inspirant de l'enrichissement de la théorie de la dépendance au sentier, nous émettons la perspective, la possibilité d'approfondir les études des injonctions au cœur de la transition avec le concept d'acteurs à croyances dominantes développé par le Prix Nobel D. North (1990, 2005).

Encadré n°11 : *Le concept d'acteurs à croyances dominantes pour mieux étudier les injonctions contradictoires, au cœur de la transition*

North (*ibid.*) a sensibilisé sur le rôle des croyances. Précisément, les injonctions se nourrissent de croyances (par exemple, sur ce que l'agriculture devrait être). Sont désignés dans la littérature, comme des acteurs à croyances dominantes « des entrepreneurs politiques et économiques en mesure d'instaurer des lignes d'action aboutissant à la longue à l'accrétion d'une structure d'institutions élaborée (qui inclut les injonctions) déterminant le fonctionnement de l'économie et de la politique »
En clair, les institutions (les règles du jeu) sont la traduction de croyances d'acteurs dominants. Elles donnent naissance à leur tour à des organisations d'hommes et de femmes, dont l'objectif est de promouvoir et protéger les croyances ; en veillant à ce que les institutions y contribuent de manière explicite ou en consolidant les pratiques des organisations d'acteurs. C'est ce qui conduit à une forte dépendance au sentier où l'intentionnalité compte. (North 1990, Randrianasolo and Sauvée 2014)
En corollaire : « Un changement ne peut faire l'économie d'une promotion et d'une défense des croyances et des institutions associées, par une organisation qui met en œuvre des innovations multidimensionnelles à côté de l'innovation technique ».
Quelles communications, collaborations, coordinations pour un changement d'échelles d'une agriculture en transition ?
En effet, au moment de conclure cette analyse, nous nous rappelons avec Marais et al (2021), inspirés aussi par North dans les études de transitions économiques qu'ils ont menées, que la dépendance au sentier représente bien la façon dont **les institutions et les croyances** du passé influencent les choix dans le présent.
Et à tous ceux qui sont en recherche de moyens, d'actions pour la renverser et initier une transition, les auteurs rappellent que les contraintes sur les choix du présent résultent d'expériences historiques, d'où l'intérêt de son analyse si possible approfondie et avec les principaux acteurs de l'histoire, ici, les agriculteurs.

En termes de co-production de connaissance, sur la massification de la transition environnementale et numérique, il serait judicieux de favoriser toutes les formes de réseaux permettant aux agriculteurs d'échanger, et pour cela soutenir toutes les formes offertes par les outils numériques. Un slogan pourrait être « Agriculteurs-à-agriculteurs » en marche pour la transition numérique et environnementale, avec la recherche et les structures de développement techniques (Instituts de recherche, Instituts techniques, Chaires, ateliers pour agriculteurs…).

Bibliographie

Bibliographie – Version Été 2022

Arthur, W.B.(1989). Competing Technologies, Increasing Returns and Lock-in by historical Events. *Economic Journal*, n° 99/03, 116-131.

Ben Othmen, M.-A., Dubois, M. J. F., Sauvée, L. (2020). Évolution agrotechnique contemporaine III. Animal & Technique. Collection Ingénieur au XXIe siècle, Pôle éditorial de l'UTBM.

Bergez, J. E., Audouin, E., & Therond, O. (2019). *Agroecological transitions : from theory to practice in local participatory design*. Springer Nature.

Burén, S., & Rubio, L. M. (2018). State of the art in eukaryotic nitrogenase engineering. *FEMS Microbiology Letters*, *365*(2). https://doi.org/10.1093/femsle/fnx274

Callois, J.-M., (2022). *Le Renouveau des Territoires par la Bioéconomie*, Collection Matière à débattre et décider. Editions Quae : Paris.

Caroux, D., Dubois, M. J. F., Sauvée, L. (2018). Évolution agrotechnique contemporaine II. Transformation de l'agromachinisme : fonctions, puissance, information, invention. Collection Ingénieur au XXIe siècle, Pôle éditorial de l'UTBM, 246 p., Mai.

Chabert, A., & Sarthou, J.-P. (2020). Conservation agriculture as a promising trade-off between conventional and organic agriculture in bundling ecosystem services. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *292*, 106815. https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106815

Conti, C., Zanello, G., & Hal,l A. (2021). Why are agri-food systems resistant to new directions of change ? A systematic review. *Global Food Security,* 31 (2021) 100576

David, P. A.(1985). Clio and the Economics Qwerty. Stanford University : http://geein.fclar.unesp.br/reunioes/quinta/arquivos/060505_Clio_and_the_economics_of_qwerty.pdf

David, P.A.(2000). Path Dependence, its Critics, and the Quest for Historical Economics », in Garrouste P., Ioannides S. (eds), *Evolution and Path Dependence in Economic Ideas : Past and Present*. Edward Elgar Publishing, England.

Dubois, M. J. F., Sauvée, L. (2016). Évolution agrotechnique contemporaine. Quelles transformations de la culture technique agricole ? Collection Ingénieur au XXIe siècle, Pôle éditorial de l'UTBM, 236 p. Octobre.

Galloway, J. N., & Cowling, E. B.(2002). Reactive Nitrogen and The World : 200 Years of Change. 31(2), 8.

Geels, F.W., (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes : a multi-level perspective and a case-study. Research Policy, 31 (8), 1257-1274.

Geels, F.W., Schot, J., (2007). Typology of sociotechnical transition pathways. Research Policy, 36 (3), 399-417.

Harchaoui, S., & Chatzimpiros, P. (2018a). Energy, Nitrogen, and Farm Surplus Transitions in Agriculture from Historical Data Modeling. France, 1882-2013. : Energy, Nitrogen, and Farm Surplus Transitions. *Journal of Industrial Ecology*. https://doi.org/10.1111/jiec.12760

Harchaoui, S., & Chatzimpiros, P. (2018b). Can Agriculture Balance Its Energy Consumption and Continue to Produce Food ? A Framework for Assessing Energy Neutrality Applied to French Agriculture. *Sustainability*, *10*(12), 4624. https://doi.org/10.3390/su10124624

Hinrichs, C.C., (2014). Transitions to sustainability : a change in thinking about food systems

change ? Agriculture and Human Values, 31 (1), 143-155.

Hölscher, K., Wittmayer, J.M., Loorbach, D., (2018). Transition versus transformation : what's the difference ? Environmental Innovation and Societal Transitions, 27, 1-3.

Ingram, J., (2015). Framing niche-regime linkage as adaptation : an analysis of learning and innovation networks for sustainable agriculture across Europe. Journal of Rural Studies, 40, 59-75.

Lamine, C., Darnhofer, I., & Marsden, T. K.(2019). What enables just sustainability transitions in agrifood systems ? An exploration of conceptual approaches using international comparative case studies. *Journal of Rural Studies*, *68*, 144-146.

Liu, Y., Villalba, G., Ayres, R. U., & Schroder, H. (2008). Global Phosphorus Flows and Environmental Impacts from a Consumption Perspective. *Journal of Industrial Ecology*, *12*(2), 229-247. https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2008.00025.x

Marais, L., Nel, V., Rani, K., van Rooyen, D., Sesele, K., van der Watt, P. & du Plessis, L. (2021). Economic Transitions in South Africa's Secondary Cities. *Politics and Governance*, volume 9(2), (p. 381–392). doi : 10.17645/pag.v9i2.4032

Meynard, J. M., Jeuffroy, M. H., Le Bail, M., Lefèvre, A., Magrini, M. B., & Michon, C. (2017). Designing coupled innovations for the sustainability transition of agrifood systems. *Agricultural systems*, *157*, 330-339.

Meynard, J. M., Messéan, A., Charlier, A., Charrier, F., Le Bail, M., Magrini, M. B., & Savini, I. (2013). Freins et leviers à la diversification des cultures : étude au niveau des exploitations agricoles et des filières. *Ocl*, *20*(4), D403.

Meynard, J.-M. (2021). Quelles innovations pour réduire les usages des pesticides ? Conférence chaire Management des risques en agriculture, Les Bernardins, Paris, Communication orale.

North, D. (1990). *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*. Cambridge University Press, New York

North, D. (2005). *Le processus de développement économique*. Éditions d'organisation, Paris.

Randrianasolo, H. (2010). De l'improbable normalisation du commerce équitable. Une approche par la dépendance au sentier. Thèse de doctorat, UVSQ

Randrianasolo-Rakotobe, H., Dubois, M., Sauvée, L (A paraître 2023). Introduction au dossier spécial Innovations et risques en agriculture. Cahiers Costech, UTC (Après publication de la Revue Innovations et travaux avec Trame, décembre 2022)

Randrianasolo-Rakotobe, H., Sauvée, L. (2014). Social Innovation in lock-ins : Insights from a French initiative of Fair Trade standardization. Dublin : ISPIM Conference Proceeding

Traitler, H., Dubois, M., Heikes, K., Petiard, V., & Zilberman, D. (2017). Innovation in Plant Breeding for sustainable Supply of High-Quality Plan Raw Materials for food Industry. In *Megatrends in Food and Agriculture : Technology, Water Use and Nutrition* (p. 53-86). Wiley