



TRANSITION NUMÉRIQUE ET PRATIQUES DE RECHERCHE ET D'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR  
en agronomie, environnement, alimentation, sciences vétérinaires à l'horizon 2040

RÉSUMÉ DE LA PROSPECTIVE - 27 JUIN 2019



**La transition numérique** impacte tous les secteurs d'activités de la société. L'enseignement supérieur et la recherche publics (ESR) ne sont pas exempts des bouleversements qu'elle induit. Les transformations des pratiques et des modes d'organisation de l'ESR, des relations entre les acteurs de cet écosystème, ainsi qu'un sentiment d'accélération de ces transformations génèrent diverses images du futur – fantasmées ou plausibles. Lors de cette prospective nous proposons d'éclairer le débat concernant les implications à venir de cette transition pour la recherche et l'enseignement supérieur dans les domaines scientifiques traitant de l'agriculture, de l'environnement, de l'alimentation et de la santé animale – désignés dans ce document par « les domaines spécifiques ».

**Dans l'enseignement supérieur**, la transition numérique modifie les contenus, les outils et les méthodes pédagogiques. Les rôles respectifs des enseignants et des apprenants et l'élaboration des parcours de formation sont et seront transformés par les algorithmes, les intelligences artificielles et le développement de plateformes numériques. La profusion de ressources pédagogiques en ligne renforce les possibilités d'autoformation et questionne la contribution du présentiel, de la formation initiale et des diplômes dans le parcours de chacun. Par qui, humains ou algorithmes, et comment les contenus et les parcours de formation, les plus adaptés et correspondant aux besoins, seront-ils décidés ? Quels rôles les enseignants, les formateurs et les apprenants joueront-ils dans des parcours numériques individualisés ou dans des communautés d'apprentissage digitalisées ? Le foisonnement des outils numériques favorisera-t-il l'accès à l'enseignement et à la formation pour tous ou renforce-t-il les inégalités ? Face aux enjeux économiques et aux grands opérateurs privés, quelle sera la place de l'enseignement supérieur et de la formation publics dans le marché de la connaissance ? Comment les métiers de la recherche et de l'enseignement supérieur ainsi que les compétences associées au numérique pourront être accompagnés et développés dans ce contexte ?

**La recherche** et les pratiques de recherche se trouvent également face à des opportunités et des défis inédits. Le numérique a permis l'émergence de nouveaux métiers et de nouvelles pratiques qui ont un impact sur la production, la validation, la valorisation et la circulation de la connaissance. Les données massives favorisent les démarches abductives basées sur la fouille de données tandis que les outils d'intelligence artificielle et de simulation en émergence transforment les approches de recherche. De nouveaux métiers apparaissent afin de traiter, analyser et gérer ces données massives ; comment vont-ils s'articuler avec les disciplines existantes ? Des collectifs de recherche se structurent en réseaux ou s'assemblent autour de grands dispositifs scientifiques, parfois incluant aussi la société civile. De nouvelles interactions apparaissent au sein d'écosystèmes de recherche et d'innovation en évolution. Les nouvelles capacités de communication permettent une organisation distribuée, mondialisée, centrée autour de clusters territoriaux ou de réseaux individuels labiles. Enfin, le numérique transforme les domaines d'application de la recherche : agriculture numérique, foodtech, e-santé, sciences vétérinaires connectées, etc. Face à ces changements, quelle sera la place du numérique dans la recherche en 2040 ?

Les quatre scénarios de cette prospective décrivent des futurs contrastés de l'ESR public à l'horizon 2040 dans les domaines scientifiques traitant de l'agriculture, de l'environnement, de l'alimentation et de la santé animale. Ils permettent d'identifier les enjeux de la transition numérique et d'éclairer les orientations futures de l'enseignement supérieur et la recherche dans ces domaines en termes de structuration, d'organisation, de priorisation et de ressources humaines.

## Panorama de la situation

### Éléments de contexte

La transition numérique peut apporter des solutions à une diversité de défis, mais ses impacts sur la consommation d'énergie et de métaux rares sont également sources de problèmes. Pour rester cohérent avec les objectifs de la transition écologique, le secteur du numérique devra réduire son impact environnemental. Côté société, la transition numérique pourrait également avoir des effets équivoques. Au-delà de son succès, elle est à l'origine de l'infobésité, d'une réduction de l'attention, d'une sur-intensification du travail, et demande une capacité critique accrue. Elle transforme les liens sociaux, le travail et le rapport au temps. Dans la sphère économique, elle influence de nombreux secteurs et engendre de nouveaux phénomènes dont la désintermédiation/ré-intermédiation (notamment avec l'extension des plateformes numériques), l'automatisation et la dématérialisation. Les opérations entourant les échanges – appels d'offre, validations partielles par des tiers, règlements conditionnés – pourraient être gérées automatiquement et en confiance grâce aux *smart contracts*. L'économie deviendrait en partie programmable. La sphère politique est confrontée à la nouvelle importance des données, des outils et des usages du numérique, et du partage de cette ressource en tant que ressource commerciale ou bien en tant que bien commun. Les rôles respectifs des grands acteurs économiques, des start-ups, des citoyens, de l'ESR et de la sphère étatique ainsi que la régulation d'internet restent à définir. Les Etats pourraient choisir d'exercer une maîtrise complète des ressources numériques, s'appuyer sur des acteurs sociétaux pour mettre en œuvre une régulation ou au contraire laisser les acteurs économiques déterminer l'accès, la neutralité, la qualité et la protection des utilisateurs.

### Organisation et pilotage de l'ESR

Les nouveaux modes de communication transforment les formes d'organisation de l'ESR. Le fonctionnement en réseau – individualisé, dynamique et informel – vient s'ajouter aux coordinations hiérarchiques et par projet. Des pratiques décentralisées, horizontales où la prise de décision est distribuée apparaissent. Les réseaux sociaux et la science ouverte permettent le rapprochement de la société civile à la sphère décisionnelle. Le travail à distance, des laboratoires virtuels, des espaces de *co-working*, des communautés d'apprentissage en ligne et des plateformes collaboratives et de prestations de services se développent. Le numérique favorise l'émergence de profils multitâches. Les croisements de bases de données appellent des compétences transdisciplinaires et *T-shaped* – de double compétence

combinant connaissances superficielles et connaissance approfondies. Les enseignants, appuyés par des ingénieurs pédagogiques, devront renouveler en permanence leurs compétences pour maîtriser les innovations. Les enjeux concernent la capacité d'investissement et de négociation au regard des moyens considérables des grands acteurs du numérique ainsi que le risque d'exacerber des écarts entre disciplines, équipes ou établissements selon leur capacité numérique. Le pilotage scientifique pourrait intégrer des intelligences artificielles prédisant la productivité d'individus ou la pertinence de thématiques. Cela renforcerait la nécessité de développer une réflexion et une analyse éthique dans les établissements de l'ESR.

## Pratiques de recherche

Le numérique transforme les processus de recherche, la production, validation, valorisation et circulation des connaissances, ainsi que les collectifs et métiers de la recherche. L'élargissement des collectifs de recherche, facilité et transformé par les outils numériques, amène les chercheurs à tisser de nouveaux liens avec la société civile marchande et non marchande. La production de connaissances est également transformée par le numérique. Ainsi, les données massives acquises grâce aux capteurs, objets connectés, ou séquençage haut débit, modifient la méthode scientifique en donnant une large place à l'analyse statistique, aux méthodes mathématiques de fouilles des données, à l'apprentissage automatique et à la visualisation des données. De nouveaux métiers tels que *data scientists*, bio- et éco-informaticiens, ou *computational biologists* se multiplient afin d'exploiter ces données massives et appréhender la complexité des objets d'étude. L'exploration et la fouille des données inversent la méthode scientifique classique en générant par raisonnement inductif des hypothèses qui sont ensuite testées de manière classique par une approche déductive. Souvent reliées aux données massives, les évolutions de l'IA combinant des approches symboliques, statistiques et d'apprentissage automatique pourraient transformer la production de connaissances dans tous les domaines scientifiques, notamment ceux traitant de l'agriculture, de l'environnement, de l'alimentation et de la santé animale. Le numérique transforme également la validation et la diffusion des connaissances. Avec le développement de systèmes alternatifs tels les *preprints* et les collectifs de *Peer Community In*, il participe à la remise en cause du système actuel d'évaluation organisé par les éditeurs traditionnels. De nouvelles formes de publications liées aux données telles que les *data papers*, les revues systématiques et les méta-analyses se développent, ainsi que de nouvelles formes de communication tels qu'*open protocols*, *workflow* partagés, codes sources partagés, *microblogging*, réseaux sociaux spécialisés, *webinars*, vidéos, etc. A terme, le caractère central des données et des capacités de traitement dans les dynamiques de production de connaissances pourrait donner un rôle croissant aux grands acteurs privés du numérique qui investissent dans des IA pour l'agriculture, l'alimentation, l'environnement et la santé animale.

## Pratiques d'enseignement et de formation

Le numérique transforme les outils et méthodes pédagogiques, et le rôle des enseignants et formateurs. Le développement informatique, l'intelligence artificielle et les algorithmes, et la gestion de données s'invitent dans de nombreux cursus en dehors des filières informatiques. Les étudiants et les enseignants s'appuient sur un outillage numérique qui offre une solution digitale globale avec des services d'accès aux enseignements numériques, aux ressources de formation, et à divers outils de communication. Les plateformes d'enseignement créent un nouveau paysage pédagogique basé sur la collecte de données d'apprentissage des étudiants pour leur offrir des solutions personnalisées ou pour alimenter de nouveaux services. L'intelligence artificielle peut remplir des fonctions pédagogiques auparavant accomplies par l'enseignant ou aider ce dernier à créer un environnement mieux adapté à l'apprentissage. Elle pourra aussi faciliter l'internationalisation des formations par un esperanto virtuel. L'accélération de la production de connaissances, les communautés d'apprentissage en ligne ainsi que la plasticité et l'accessibilité des technologies numériques font émerger des approches pédagogiques où les outils et les contenus d'apprentissages sont co-construits par des enseignants et des apprenants. Les apprenants deviennent concepteurs de leur apprentissage basé sur des modalités et des contenus construits au fil de l'eau. La frontière entre sachants et apprenants est ainsi réduite. Les outils numériques créent une hybridation entre i) apprentissage en présentiel et à distance, ii) apprentissage synchrone et asynchrone, iii) formation en milieu professionnel et dans des lieux dédiés, iv) formation initiale et continue, v) apprentissages formels et informels. Le numérique démultiplie les apprentissages et permet de rapprocher les dispositifs de formation du futur contexte professionnel des apprenants. Cependant l'usage maîtrisé des outils numériques nécessite une formation qui assure une littératie numérique, un accès équitable aux ressources et des compétences qui permettent d'être en capacité d'agir dans ce contexte.

## Données

Les volumes de données, leur diversité et les différents types de production et d'usages augmentent constamment. Elles permettent de croiser des approches disciplinaires en mobilisant des jeux de données de multiples origines. Cependant la réutilisation des données et des résultats de modèles impose de nouvelles exigences de qualité (fraîcheur, disponibilité, cohérence sémantique, fonctionnelle et technique, traçabilité, sécurisation, et exhaustivité) et d'interopérabilité synthétisées dans les principes FAIR (*Findable, Accessible, Interoperable* et *Re-usable*). Le partage des données a pris une telle importance qu'il constitue désormais une grande partie de la création de valeur et a donné naissance au mouvement d'ouverture des données publiques (*open data*). À partir de quantités massives de données accessibles et ouvertes, la fouille de données et l'intelligence artificielle pourraient extraire du sens, et identifier et prédire des phénomènes. Ces jeux de données permettent également des modélisations et des simulations numériques qui offrent, côté enseignement, la possibilité de mettre en situation des apprenants grâce à la réalité virtuelle. Ces évolutions font entrer en jeu de nouveaux types d'acteurs, de nouveaux métiers, de nouvelles pratiques et des moyens, des infrastructures et des technologies de calcul et de stockage qui ne sont pas toujours accessibles à tous.

## Interactions de l'ESR avec la société

La transition numérique, l'innovation ouverte, les outils de communication, et la concurrence pour la visibilité changent la relation de l'ESR avec son écosystème. Les partenariats public-privé et l'implication de la société civile non marchande prennent de l'ampleur. Les citoyens font valoir leur opinion lors de débats scientifiques, incitant les acteurs de l'ESR à leur donner une place. Les normes académiques pourraient être bousculées par une participation citoyenne dans les orientations stratégiques et dans l'évaluation de la recherche et de l'enseignement. La communication externe évolue vers le dialogue. Les citoyens s'impliquent au travers des sciences participatives. Mais le défi aujourd'hui est de capter l'attention des publics en jouant le jeu de la visibilité. Pour cela, de nouveaux outils de communication et de nouvelles formes de visualisation des résultats scientifiques permettent d'intégrer l'art, les émotions et la dimension humaine dans la communication. Des médiateurs scientifiques et des tiers-lieux permettent de concrétiser des relations plus horizontales entre experts scientifiques professionnels et non professionnels.

## Ethique et cultures numériques

Les usages du numérique et le rythme soutenu des innovations technologiques appellent à une meilleure compréhension et maîtrise de l'offre numérique. Chercheurs et enseignants-chercheurs, comme les citoyens, doivent apprendre à prévenir les risques psycho-sociaux associés et à naviguer dans un environnement changeant et instable. Ils sont face à plusieurs défis : développer un esprit critique sur les informations disponibles sur le web et une capacité à analyser les mécanismes et enjeux sous-jacents au numérique tels que les algorithmes utilisés par les moteurs de recherche ou la qualité des données. L'accès facile aux informations, l'émergence de communautés en ligne et l'affirmation de l'amateur éclairé et des acteurs non-scientifiques dans la production de connaissances et de pseudo-connaissances questionnent l'autorité scientifique et pédagogique du chercheur et de l'enseignant. Une éthique et une déontologie doivent être construites par les acteurs de l'ESR autour de plusieurs dimensions : le choix des thématiques prioritaires en ayant recours à l'intelligence artificielle, les règles collectives d'usage, la prise en compte de la problématique des données personnelles, l'aptitude à fonctionner avec la culture de la donnée ouverte en ménageant sa relation à l'innovation ouverte et aux droits d'auteur, et la gestion des limites entre vie privée et vie professionnelle.

## Hypothèses d'évolution à 2040

Les hypothèses d'évolution mobilisées et leur combinaison pour l'élaboration des scénarios (Sc) sont présentées dans le tableau ci-dessous.

	Hypothèse d'évolution 1	Hypothèse d'évolution 2	Hypothèse d'évolution 3	Hypothèse d'évolution 4	
<b>Contexte : société, économie et politique</b>	Nouvelle renaissance des communautés avec capitalisme de proximité	Le plan GAFAM et la délégation de services publics au privé	Urgence environnementale et usages durables du numérique	Frugalité numérique subie	
<b>Organisation institutionnelle de l'ESR</b>	Ubérisation de la recherche et de l'enseignement supérieur	Puissance publique (Etat ou Europe) planificatrice	Les métropoles en concurrence et Politiques européennes		<b>Sc 1:</b> L'ESR aux pieds des géants du numérique
<b>Pratiques de recherche</b>	Le capitalisme numérique de la connaissance	La connaissance pour les biens communs	Production de connaissances ancrée dans les territoires		<b>Sc 2:</b> L'ESR et le numérique pour la préservation de la planète
<b>Pratiques d'enseignement et de formation</b>	Fracture sociale et ultra-libéralisation de l'apprentissage	Une société de l'apprentissage inclusif	Foisonnement numérique et écosystèmes locaux de l'apprentissage		<b>Sc3:</b> Les écosystèmes numériques territorialisés de l'ESR
<b>Données</b>	La donnée surréglementée	Dévalorisation des données produites par la recherche publique	Données massives et données expertes	L'open data réussi	
<b>Interactions de l'ESR avec la société</b>	Impuissance de l'ESR face à la puissance des réseaux	Coopération	Recherche agile et partenariale		<b>Sc4:</b> L'ESR face à la frugalité numérique
<b>Ethique et culture numérique</b>	Tensions et dialogues de sourds	Numérique pour tous	Régulation et moralisation des usages		
	<b>Sc 1:</b>	<b>Sc 2:</b>	<b>Sc3:</b>	<b>Sc4:</b>	

## Les scénarios d'évolution de l'enseignement supérieur et de la recherche à l'horizon 2040

### Scénario 1 : L'ESR aux pieds des géants du numérique

Les géants du numérique, par leur capacité à manier les ressources et les outils numériques et à proposer des services à la société civile, se sont imposés comme des acteurs centraux de la recherche et de l'enseignement. Depuis 2030, le nombre de chercheurs et d'enseignants-chercheurs dans l'ESR – public – s'est réduit avec le départ de nombreux scientifiques vers le privé. Désormais, le début d'une carrière scientifique s'effectue sous un statut d'autoentrepreneur ou de salarié d'une entreprise. Les grandes firmes du numérique affichent leur engagement dans les sciences et l'innovation. Elles ont profité d'avantages fiscaux liés à l'investissement dans la recherche et l'enseignement supérieur, notamment en finançant et en développant depuis les années 2020 des plateformes d'intermédiation devenues essentielles aux activités de recherche.

Dans la recherche, des plateformes collaboratives et de prestation de services, gérées par les géants du numérique, permettent de conduire des recherches. Ces plateformes de mise en relation – *matching*, outillées par des intelligences artificielles, assurent la rencontre entre, d'un côté, des appels d'offres publics et des demandes d'entreprises privées et, de l'autre, des projets de recherche portés par des collectifs de chercheurs. La programmation de la recherche varie au gré des appels d'offres. Les plateformes collaboratives offrent aux chercheurs la possibilité de constituer le collectif de recherche qui optimisera leurs chances de remporter un appel d'offres. De plus, les plateformes de prestation de services garantissent l'accès à des données et à des puissances de calcul importantes. En effet, les approches basées sur la donnée – *data-driven* – et faisant appel à des intelligences artificielles sont le nouveau standard de la production de connaissances dans un grand nombre de domaines. En contrepartie, les plateformes s'approprient automatiquement les données produites par le collectif de chercheurs ayant utilisé leurs services. La validation des connaissances passe également par des plateformes en ligne où le *peer review* est réalisé en grande partie par l'intelligence artificielle. Les chercheurs sont évalués via les plateformes d'intermédiation : un *scoring* multifactoriel, déterminé par une intelligence artificielle, évalue le nombre et l'ampleur des projets dans lesquels ils sont impliqués, leurs publications et leurs financements. Une labellisation éthique complète ce *scoring* signalant la prise en compte d'un cadre éthique dans leurs recherches. L'activité des institutions de la recherche publique consiste désormais essentiellement à gérer la réputation des chercheurs, attribuant des labels à certains et les retirant à d'autres, dans une logique de marque – *branding*.

Dans l'enseignement supérieur, deux types de formation coexistent : un système privé sur des thématiques spécialisées qui est le plus recherché par les étudiants, et un système public bénéficiant de moindres moyens sur les thématiques restantes. L'enseignement supérieur public persiste afin d'assurer une formation minimale à une large population mais sur des compétences non-prioritaires pour les grands acteurs économiques. Les inégalités sociales s'en trouvent renforcées. Les enseignants-chercheurs sont des autoentrepreneurs évalués en fonction de leur notoriété numérique définie par *scoring*. La gratuité de certaines formations a un prix : les données personnelles et d'apprentissage des étudiants utilisant les plateformes d'enseignement des GAFAM et BATX sont la propriété de ces entreprises qui en font un usage commercial, et les utilisent pour entraîner leur intelligence artificielle et mener des recherches. Le rôle des enseignants est de coacher les étudiants dans leur parcours de formation, notamment en identifiant et en faisant le tri entre les connaissances auxquelles ils doivent accéder, et en les orientant dans le dédale des formations en ligne. Un *Learning Management System* unique des GAFAM s'est imposé et les enseignants n'ont d'autre choix que d'y réaliser l'ensemble des étapes de formation, de la conception, des objectifs de l'apprentissage jusqu'à l'évaluation finale en passant par la sélection des outils numériques et la formation d'équipes d'enseignement. Les certifications des formations s'effectuent grâce à des badges ouverts et interopérables, qui sont des images numériques attestant des compétences acquises par un étudiant. Les badges ouverts font l'objet d'un marché très concurrentiel où dominent de grandes universités internationales en partenariat avec les géants du numérique.

### Scénario 2 : L'ESR et le numérique pour la préservation de la planète

Depuis 2020, l'urgence environnementale dans laquelle se trouve la planète est une priorité. Les États européens l'intègrent dans leurs politiques. Les défis concernant le climat, l'alimentation, l'énergie et la raréfaction des ressources naturelles sont regroupés sous un concept systémique et se traduisent par d'ambitieuses politiques publiques. L'Union européenne (UE) s'affirme comme unité pertinente pour traiter efficacement ces questions. Elle a bâti par ailleurs une souveraineté dans le secteur du numérique en développant ses propres moteurs de recherche, plateformes, centres de stockage, outils de traitements et autres ressources numériques. Une régulation et une coordination à la fois européenne et nationale des politiques numériques permettent le développement d'un nouveau numérique aux usages maîtrisés. Mobilisant les technologies numériques, l'UE et les États membres ont investi des moyens conséquents dans la recherche et l'enseignement supérieur pour développer des solutions et implémenter les grands choix stratégiques face aux défis globaux. L'ESR public est ainsi renforcé.

Dans la recherche, le statut des chercheurs et enseignants-chercheurs est revalorisé. Recrutés par les États ou par l'UE, ils mènent, dans de bonnes conditions, des recherches de qualité visant à préserver la planète et la santé. Les enjeux environnementaux et sociaux sont intégrés dans tous les travaux de recherche y compris l'allocation de ressources numériques, gourmandes en énergie, lors du recours à l'intelligence artificielle. Les financements nationaux et européens, abondants, permettent aux chercheurs de se positionner sur des sujets émergents et de mener des recherches visant à renforcer les biens publics. Les politiques de l'*Open Access et Open Data* des années 2020 ont bien fonctionné et favorisé la coopération des

acteurs scientifiques entre eux, permettant le développement de larges bases de données qui sont le support de recherches interdisciplinaires sur les transformations globales. Les savoirs des divers acteurs de la société sont mobilisés via des outils numériques. L'adaptation proactive au numérique par l'éducation a permis de maintenir la confiance entre scientifiques et non scientifiques, d'apprendre à vivre en bonne intelligence avec l'évolution numérique, et de concilier la nanoseconde des outils électroniques et des réseaux avec le temps long de la science, du vivant, et de l'environnement. Ces mesures ont repositionné la recherche publique et ses chercheurs au cœur de la société européenne et des stratégies à mettre en place dans un contexte d'urgence environnementale.

Dans l'enseignement supérieur, l'orchestration des transitions par les pouvoirs publics se traduit par la mise en place d'une internationalisation de l'enseignement autour de thématiques spécifiques. En effet, les défis globaux prenant des formes différentes selon les localités, certaines problématiques d'adaptation, par exemple, peuvent être similaires entre des régions du monde éloignées. Les enseignants-chercheurs ont recentré leurs enseignements sur des problématiques liées à l'intégration des défis globaux et sont en interaction forte avec le terrain lorsque c'est pertinent. Les cours sont majoritairement dispensés en anglais ou traduits en direct pour répondre à l'internationalisation des étudiants. Ceux-ci, devenus très mobiles, construisent désormais leur parcours en piochant des modules au sein d'un catalogue numérique européen qui garantit une reconnaissance des diplômés au sein de toute l'Union dans un contexte où les diplômés nationaux ont perdu de leur valeur. Il est désormais possible d'étudier une thématique et ses déclinaisons géographiques dans différentes régions de l'Europe pour obtenir une certification.

### **Scénario 3 : Les écosystèmes numériques territorialisés de l'ESR**

S'appuyant sur des politiques européennes de territorialisation et de développement régional, la recherche et l'enseignement supérieur publics s'organisent dans les territoires régionaux et métropolitains afin de répondre à leurs intérêts spécifiques. Le dispositif national de l'ESR est distribué géographiquement. Cette organisation est complétée par une mise en réseaux inter-territoires facilitée par les outils numériques. Des dispositifs de recherche-innovation gérés par les territoires s'ancrent dans les problématiques des acteurs locaux, tout comme les thématiques enseignées qui se spécialisent autour de domaines spécifiques.

Des pôles d'ESR territoriaux associent la recherche et l'enseignement supérieur en lien avec les communautés environnantes et constituent le cœur d'écosystèmes de recherche et d'innovation. Une forte coopération science-société s'organise autour de plateformes numériques et de laboratoires ouverts ancrés dans les territoires. Des entreprises situées dans les territoires deviennent partenaires de l'ESR, et siègent dans les comités d'évaluation de la recherche. Les laboratoires de recherche ont des relations étroites avec leurs partenaires et promeuvent des cycles courts de recherche-innovation. Différentes formes de coopération entre chercheurs, enseignants-chercheurs, et acteurs de terrain tels que collectivités territoriales, entreprises, professionnels, consom'acteurs, ou patients s'institutionnalisent. Les sciences participatives sont à l'ordre du jour. Des groupes de citoyens influencent les thématiques de recherche à promouvoir en s'impliquant dans des arènes territoriales de décision. Des porteurs d'enjeux collaborent avec des chercheurs pour lancer des alertes et orienter la recherche et l'enseignement. Les infrastructures numériques des territoires catalysent les interactions des acteurs publics et privés avec la recherche. De grandes quantités de données sont produites par des objets connectés et des capteurs, l'interopérabilité des données est renforcée, et le traitement des données par la recherche s'appuie sur des intelligences artificielles. Les connaissances inter- ou transdisciplinaires ainsi produites permettent de générer des innovations et de nouveaux services bénéficiant aux acteurs du territoire. Pour autant, la pertinence des recherches par rapport au territoire n'empêche pas l'excellence académique, et les réseaux de chercheurs restent très organisés aux échelles nationale, européenne et internationale.

L'ensemble de la société civile maîtrise désormais les usages du numérique, les citoyens ont développé un esprit critique sur l'origine des informations et cette maîtrise permet un usage du numérique plus raisonné que dans les décennies passées. L'autorégulation des usages du numérique et une nouvelle réglementation sur l'usage des données numériques prenant en compte la notion de biens communs renforcent la confiance entre scientifiques et acteurs sociaux, laquelle avait été écornée par la multiplication des fausses informations dans les années 2020 et la captation des données numériques. Les frontières entre experts amateurs et professionnels s'effacent. La complémentarité entre connaissances scientifiques et savoirs d'expérience s'affirme. Il émerge une recherche et un enseignement qui répondent aux demandes des territoires.

Les enseignants sont salariés d'une collectivité territoriale. Ils aident les étudiants à utiliser au mieux la multitude d'outils et de contenus numériques à leur disposition. Les travaux pratiques sur le terrain sont devenus plus prégnants dans l'enseignement. Les modules fondamentaux, tels que les statistiques ou les mathématiques, qui ne nécessitent pas de travaux pratiques sur le terrain sont traités entièrement sur des plateformes numériques gérées par des ingénieurs pédagogiques qui co-construisent les outils numériques avec les étudiants. Il y a création de communautés d'apprentissage où la co-construction des savoirs en lien étroit avec les acteurs du territoire est centrale.

## Scénario 4 : L'ESR face à la frugalité numérique

Dans les années 2020, les États font face à une raréfaction des ressources consommées par le numérique, à des coûts énergétiques et des impacts environnementaux et psycho-sociaux considérables. Le développement non-maîtrisé du numérique devient un problème majeur. L'Union européenne et les États membres décident alors de réguler les usages du numérique, profitant d'un contexte mondial favorable au développement de solutions pour la maîtrise du numérique dans le but de préserver l'environnement et le bien-être social. La part du numérique dans la consommation énergétique baisse drastiquement. Soumis à la « taxe *data-byte* », les consommateurs ont réduit l'intensité de leurs pratiques numériques. Mise en place en Europe dès 2035, cette taxe est calquée sur la taxe carbone des années 2020. Chaque citoyen dispose d'une quantité maximum de données qu'il peut utiliser et d'un espace maximum de stockage et de calcul. L'ESR et les entreprises ayant des besoins plus importants achètent des droits aux *data-bytes* auprès de la Banque centrale européenne du numérique qui en régule les usages.

La frugalité numérique, initialement plutôt subie, a été cependant bien acceptée car les pouvoirs publics l'ont accompagnée par un investissement dans la recherche et par le développement d'une société d'apprentissage. L'appui au développement d'un usage frugal et alternatif du numérique pour en réduire les impacts environnementaux et psycho-sociaux, devient donc un programme prioritaire pour la recherche, l'enseignement supérieur et la formation. Si le numérique reste présent dans la société, les citoyens ont développé des usages qui les dégagent de l'asservissement digital en termes d'accélération permanente, de baisse du temps d'attention, d'éparpillement, de surcharge cognitive et de gestion de la déconnexion.

Le monde de la recherche bénéficie de plus de droits en matière d'usage de *data-bytes* mais donne l'exemple et contribue au développement de pratiques numériques frugales dans la société. Il co-produit des connaissances moins standardisées, plus proches des pratiques et ancrées dans les spécificités locales. Il optimise la mutualisation des ressources, le partage et la distribution des tâches et des savoirs au sein de communautés de recherche hybrides regroupant chercheurs professionnels et non professionnels. Les sciences de la donnée sont repensées pour économiser l'usage de *data-bytes*. La modélisation est moins fondée sur des pratiques *in silico* et plus directement couplée à l'expérimentation de laboratoire et de terrain. Une analyse coût-bénéfice est réalisée avant de lancer des projets basés sur l'intelligence artificielle, des simulations ou différents outils nécessitant d'importantes ressources numériques. Les thématiques de recherche sur les pratiques agricoles et vétérinaires, sur le fonctionnement du système alimentaire, et sur la gestion des ressources naturelles visent à créer des systèmes moins dépendants de ressources externes et donc mieux adaptés aux spécificités locales. Pour faciliter l'adéquation entre les connaissances et les besoins locaux, la déconcentration et le maillage géographique coordonné de l'ESR contribue à économiser les ressources numériques.

L'enseignement supérieur, lui-aussi déconcentré et distribué, participe de la même façon au renforcement de la frugalité numérique. Les nouvelles connaissances et pratiques s'acquièrent en se confrontant à la réalité locale, sur le terrain ou en laboratoire, et en interaction avec les autres acteurs. Les outils et contenus pédagogiques sont co-construits par les apprenants, actifs au sein de communautés d'apprentissage hybrides, en ligne et en présentiel. Les enseignants sont désormais des facilitateurs, des agrégateurs de savoirs et de savoir-faire, et des animateurs de communautés réunies autour d'objets et de savoirs communs à caractère transdisciplinaire et à pertinence locale.

## Zoom sur les pratiques de recherche dans les scénarios...

Cette section présente les trois hypothèses d'évolution des pratiques de recherche explorées sous l'influence de la transition numérique. Elles couvrent les collectifs de recherche, la production de connaissance, les processus de validation des connaissances, et l'évolution des métiers de la recherche.

### Le capitalisme numérique de la connaissance (pour le scénario 1)

Les chercheurs fonctionnent comme des auto-entrepreneurs ou des salariés de grandes entreprises. Ils communiquent sur internet où ils promeuvent leurs talents, compétences et thématiques afin d'augmenter leur visibilité. Ils reconfigurent leurs collectifs de recherche en fonction des projets qu'ils développent. Ils évoluent dans un environnement où la chaîne de production des connaissances est largement automatisée et basée sur des plateformes. Ils s'appuient sur des outils d'apprentissage automatique et de réseaux de neurones, sur l'intelligence artificielle combinant des approches connexionniste et symbolique. Des entreprises spécialisées en sciences de la donnée proposent des prestations de services aux chercheurs dans les domaines scientifiques traitant de l'agriculture, de l'environnement, de l'alimentation et de la santé animale. Les géants du numérique captent et concentrent les données, les modèles et les connaissances pour les valoriser sous la forme de fourniture et de vente de services. Il résulte de ces transformations une diminution de la capacité de compréhension des milieux complexes sur des pas de temps longs, et peu de production de connaissances dans les domaines non marchands. Les chercheurs s'appuient sur des intelligences artificielles privées et des plateformes en ligne pour valider et diffuser les connaissances. Les grands éditeurs historiques sont absorbés par les grands acteurs du numérique.

## La connaissance pour les biens communs (pour le scénario 2)

Les chercheurs se concentrent sur la production de recherche pour les biens communs au sein de communautés de recherche internationales en réseau. Beaucoup s'impliquent dans des arènes de décisions internationales. Ils mobilisent des citoyens pour la collecte de données et impliquent les parties prenantes pour développer des sorties des verrouillages sociotechniques néfastes pour la planète. Des outils numériques sont mobilisés pour le traitement des phénomènes complexes associés aux défis globaux. Ils s'appuient sur les sciences de la donnée, sur la modélisation et sur les données massives pour conduire des expériences *in silico*. Des données massives, observées ou simulées et les croisements inédits de jeux de données leur permettent de simuler des fonctionnements de systèmes générant des résultats impossibles à obtenir par expérimentation *in situ*. Certains s'engagent dans des activités interdisciplinaires telles que l'écologie numérique au carrefour des statistiques, des mathématiques et de l'écologie et collaborent avec des spécialistes disciplinaires pour interpréter les résultats de la fouille de données massives. Le développement de biens communs informationnels permet de faciliter la circulation des données sur les biens communs et la production de connaissances. Portés par une dynamique de diffusion de connaissances ouvertes, les chercheurs déposent leurs articles sur des plateformes gratuites et ouvertes à tous, conduisant à une disparition progressive des grands éditeurs scientifiques. La validation-diffusion au sein d'une communauté *Peer Review In* s'étend à des versions antérieures au *pre-print* et postérieures à la publication validée où les commentaires et annotations font intégralement partie de la connaissance.

## Production de connaissances ancrées dans les territoires (pour les scénarios 3 et 4)

Les chercheurs, devenus également enseignants, travaillent au sein de centres territoriaux où enseignement et recherche sont intégrés. Ils centrent leur travail sur des problématiques, savoirs et innovations spécifiques à chaque territoire. Avec l'appui des réseaux sociaux territoriaux, ils constituent avec des acteurs hors recherche des écosystèmes numériques locaux. Les chercheurs participent à des dispositifs de recherche-innovation qui s'ancrent dans les territoires, afin de se relier aux problématiques des acteurs partie-prenante des territoires, et tout en renforçant la captation des données locales. Des assembleurs interdisciplinaires émergent : ils s'appuient sur les compétences de spécialistes disciplinaires et sur le croisement des bases de données par le numérique. Dans le cadre de l'innovation ouverte, ils s'intègrent dans des réseaux incluant des *livings labs* et d'autres structures où acteurs d'entreprises locales, de start-ups, et d'universités travaillent ensemble sur des recherches finalisées. Dans le cadre du mouvement « sciences en société » favorisé par les réseaux sociaux et l'accès facile à l'information scientifique, ils s'impliquent également dans des réseaux d'agriculteurs et de partie-prenantes de l'économie sociale et solidaire autour de motivations non exclusivement économiques. Ils s'engagent dans la recherche-action coopérative et dans l'innovation basée sur des communautés. Leurs liens avec la société civile comprennent non seulement la collecte et l'analyse de données locales mais aussi la construction des problématiques de recherche en amont de la mise en œuvre. Ils négocient la pertinence, le fond et la forme des productions scientifiques avec les acteurs du territoire et diffusent les résultats sous de nouvelles formes à travers des médias de communication qui favorisent l'engagement. La validation de la connaissance reste basée sur le processus d'évaluation par les pairs organisée par de grands éditeurs.

## ...et sur les pratiques d'enseignement supérieur et de formation

Cette section présente trois types d'hypothèses d'évolution des pratiques d'enseignement sous l'effet de la transition numérique, prenant en compte les contenus, les outils et méthodes pédagogiques, le rôle et la position des enseignants et formateurs et les modèles économiques de l'enseignement supérieur et de la formation.

### Fracture sociale et ultra-libéralisation de l'apprentissage (pour le scénario 1)

Les enseignants et formateurs travaillent soit pour les grandes universités d'entreprise, soit dans le système public. Les grandes entreprises numériques, GAFAM et BATX dominent le système d'enseignement et de formation. Les inégalités se sont accentuées ; seules les personnes diplômées qui ont appris à utiliser les outils numériques d'enseignement à des fins de développement de carrière savent sélectionner les bons cursus conduisant aux meilleurs diplômes et certifications dans la multitude d'offres numériques.

Dans le premier cas, les enseignants consacrent leur temps à l'ingénierie de e-formation, au coaching, et au conseil en orientation. Les formations numériques de qualité sont payantes, et les outils numériques d'enseignement et de formation proposés sont de haute qualité. Les enseignants et formateurs mettent à jour les compétences des apprenants grâce à une formation continue d'entreprise, agile et réactive, et grâce aux liens étroits qu'ils entretiennent avec les ingénieurs pédagogiques et les responsables de ressources humaines de leur entreprise. Ils conçoivent des modules de formation associant présentiel et distanciel et montent des parcours à la carte pour des petits effectifs d'étudiants triés sur le volet. Les étudiants rencontrent régulièrement leur enseignant référent avec lequel ils développent une relation privilégiée. Ensemble, ils font le bilan des compétences acquises et à acquérir et construisent leur parcours professionnel en adéquation avec les besoins de l'entreprise.



Dans le deuxième cas, les enseignants font face à de grands effectifs d'étudiants. Ils utilisent les outils numériques pour démultiplier les cours en amphithéâtre qui sont filmés, et pour former un plus grand nombre d'étudiants. Cela passe par des modules en ligne que les enseignants construisent à partir de ressources pédagogiques libres de droit, mais de moindre qualité par rapport à celles développées par les universités d'entreprise. Ils créent des partenariats entre universités publiques de différents pays pour mutualiser leurs ressources pédagogiques. L'organisation des cursus de formation est déléguée à des algorithmes et des intelligences artificielles qui orientent les apprenants, notamment en fonction des ressources mobilisables gratuitement en ligne.

### **Une société de l'apprentissage inclusif (pour les scénarios 2 et 4)**

La politique d'enseignement et de formation propose un enseignement et une formation continue de qualité, accessible à tous et tout au long de la vie, quels que soient les niveaux d'éducation et les moyens financiers des apprenants. Les enseignants ont à leur disposition des outils numériques variés qui répondent à la variété des apprenants et de leurs demandes. Pour garantir l'adéquation à leur public, les outils et les contenus sont co-construits par les apprenants eux-mêmes dans des communautés d'apprentissage hybrides, en ligne et en présentiel. La place de l'enseignant est modifiée : il est un facilitateur, un agrégateur de savoirs et de savoir-faire, un animateur de communautés.

En formation initiale, l'enseignant apprend à ses étudiants à s'y retrouver dans la pléthore d'outils numériques à leur disposition, à développer leur esprit critique face à la quantité d'informations disponibles et à construire leur projet professionnel. Il se met à jour en permanence sur l'offre numérique et sur ses compétences en orientation pour proposer des parcours adaptés aux apprenants selon les données fournis par des *learning analytics*.

La formation continue a une place prépondérante dans cette politique. C'est là que se développent les compétences spécifiques. Des communautés d'apprentissage hybride se forment autour d'un objet commun transdisciplinaire où chacun contribue selon ses compétences à la création de nouveaux contenus, souvent numériques, mis à la disposition des autres communautés. Le formateur y joue un rôle d'animateur. Il assure le suivi des projets : constitution de groupes d'apprenants hétérogènes, accords sur les objectifs adaptés aux compétences initiales, gestion des risques, du temps et du coût du projet. Il conseille les apprenants sur les outils, les formations, les personnes ressources, et les réorientations à effectuer. À l'aide d'outils numériques, il assure un reporting régulier auprès des apprenants sur leur montée en compétences et effectue une évaluation finale des projets et des apprenants. Il délivre des badges de compétences et des certificats de réussite de projets que les apprenants valorisent auprès d'employeurs potentiels. Un référentiel numérique universel des compétences est conçu et incrémenté par les enseignants et formateurs d'une part, et par les employeurs d'autre part. Ce système valorise le développement des compétences des apprenants quel que soit leur niveau et leur projet de formation.

### **Foisonnement numérique et écosystèmes locaux de l'apprentissage (pour le scénario 3)**

Face à la multiplication des outils numériques de formation accessibles en ligne, chaque apprenant, individuellement, est responsable de son capital formation qu'il développe à l'aide d'une diversité d'outils numériques à sa disposition.

Les apprenants se regroupent en communautés, connectées mais ancrées dans les territoires. Ces communautés apprenantes à la fois discutent en ligne, et se retrouvent en présentiel. Elles tissent des liens avec la recherche et les entreprises locales, ainsi qu'avec d'autres communautés traitant des mêmes thématiques à l'international. Un coach, qui remplace l'enseignant et le formateur, modère ces communautés. Il utilise ses compétences sur le numérique et en pédagogie, en psychologie de groupe, en conduite de projet, en management et en conduite du changement. Il connaît le tissu entrepreneurial, académique et associatif local. Son objectif est de permettre aux apprenants de faire aboutir leur projet. Cela l'amène à leur faire prendre conscience des compétences manquantes au projet. Il leur conseille alors des outils numériques de formation, leur fait rencontrer des personnes ressources du territoire ou à l'international pour nouer des partenariats, voire leur trouve des stages d'immersion dans des laboratoires de recherche ou des entreprises locales partenaires. Les apprenants travaillent sur des projets et co-construisent les savoirs. Les apprenants vendent leurs projets collaboratifs ou les compétences qu'ils y ont acquises auprès des employeurs potentiels. Le coach fait sa publicité en ligne autour des projets qu'il a accompagnés, des partenariats qu'il a créés et des emplois que les apprenants ont trouvés suite aux projets.

## Les enjeux pour les établissements de l'ESR

La synthèse d'un exercice Atouts-Opportunités (●) et Vulnérabilités -Menaces (○) pour les établissements de l'ESR est présentée ci-dessous.

Pour l'enseignement supérieur	Pour la recherche
<b>Plateformisation et captation des données par des firmes privées - scénario 1</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Concurrence avec le privé et une offre de ressources en ligne</li> <li>○ Maîtrise des données d'apprentissage par des acteurs plus organisés</li> <li>○ Volatilité thématique sous l'influence des modes</li> <li>○ Evaluations-notations rapides et de court-terme               <ul style="list-style-type: none"> <li>● Forte capacité de l'ESR à répondre à des enjeux au-delà des intérêts marchands et de court-terme</li> <li>● Patrimoine de la recherche et de l'enseignement supérieur</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ouverture des données de recherche et captation des données par de grands acteurs privés</li> <li>○ Dépendance vis-à-vis d'outils numériques commerciaux</li> <li>○ Modèle de production de connaissances face à un marché fluctuant</li> </ul>
<b>Transition numérique et défis environnementaux globaux - scénario 2</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Positionnement européen, liens internationaux et capacité à recruter des étudiants étrangers</li> <li>● Politiques européennes favorables à la coopération internationale</li> <li>● Positionnement thématique sur l'avenir de la planète</li> <li>○ Généralisation de l'anglais dans l'enseignement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Aptitude à mobiliser les ressources numériques nécessaires pour relever des défis globaux</li> <li>● Offre d'une combinaison d'approches territorialisées, globales, disciplinaires et systémiques, appliquées et fondamentales, au-delà des intérêts marchands</li> <li>○ Pérennité des politiques et des financements européens</li> </ul>
<b>Le numérique pour faciliter les relations entre une diversité d'acteurs dans les territoires - scénario 3</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Adéquation thématique avec, et proximité au territoire</li> <li>○ Equilibre entre les besoins présents du territoire et des enseignements robustes et adaptables aux besoins futurs</li> <li>● Généralisation des pratiques de co-construction de l'apprentissage               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Equilibre entre dispositif national et organisations territoriales</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Développement de la transdisciplinarité pour de nouveaux croisements de données et le traitement de problématiques multi-disciplines et multi-acteurs</li> <li>● Interopérabilité des données pour équilibrer la recherche au sein d'un territoire avec la mise en réseau entre territoires</li> </ul>
<b>La limitation des ressources et une sobriété numérique subie - scénario 4</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Inégalité numérique entre établissements dans un environnement aux ressources numériques limitées</li> <li>● Mutualisation des ressources numériques et collaboration entre établissements</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Pertinence d'une relation forte au terrain et à l'expérimentation</li> <li>● Couplage modélisation/expérimentation et sciences du vivant/<i>data sciences</i></li> <li>○ Durabilité des disciplines consommatrices de ressources numériques</li> <li>● Réduction de la redondance dans la production et le stockage de données</li> </ul>

## Les spécificités des domaines de l'agriculture, l'alimentation, l'environnement et de la santé animale dans la transition numérique

La transition numérique concerne une multitude d'activités, d'acteurs et de débats. A l'issue de la construction des scénarios, l'impact de la transition numérique sur la recherche et l'enseignement supérieur dans les domaines spécifiés apparaît comme relativement générique et pour partie indépendant des domaines examinés. Pour autant, certaines spécificités émergent qui ont trait aux objets « vivants » étudiés, à l'orientation finalisée des recherches - la gestion des écosystèmes et du vivant - et aux spécificités institutionnelles de ce champ. Plus précisément, les relations spécifiques entre la transition numérique et les domaines de recherche et d'enseignement spécifiés concernent l'ancrage spatial, la temporalité du vivant et des processus naturels, la complexité des objets, l'hétérogénéité des acteurs concernés, et la relation aux intérêts économiques.

La recherche et l'enseignement sur la production agricole, l'élevage, les écosystèmes et la production alimentaire se prêtent à la territorialisation. Le développement d'écosystèmes numériques territorialisés – évoqué dans le scénario 3 – où l'environnement numérique serait différent d'un numérique mondialisé et standardisé fait particulièrement sens dans

les domaines spécifiés. Les liens au terrain, aux territoires et aux acteurs locaux – par l'expérimentation, par l'apprentissage en situation, par la modélisation ou par des thématiques liées aux spécificités locales (terroirs, identité locale, agroécosystème) – appellent à un équilibre entre un numérique local proche de la réalité locale et la dématérialisation *ex-situ*. D'un autre côté, les approches de niveau global – évoqués dans le scénario 2 où l'objectif est de relever le défi de la préservation de la planète et du changement global – exigent un assemblage de données d'origines locales et provenant de divers domaines disciplinaires, et la mise en place d'approches multi-échelles et multidisciplinaires s'appuyant sur des outils numériques de simulation des phénomènes complexes. De plus, l'importance de la transmission des connaissances sur la gestion du vivant et des écosystèmes nécessite également un renforcement du continuum recherche-enseignement supérieur existant dans l'ESR.

Les temporalités des processus étudiés et de l'étude de l'environnement et du vivant diffèrent de l'instantanéité du numérique. La prépondérance du numérique dans le scénario 1 évoque une science sur le mode rapide du tout-numérique. L'analyse de données massives ou la modélisation n'ont de limites temporelles que le temps de calcul. Mais dans les domaines basés sur l'observation, notamment en science de l'environnement, c'est le temps long qui s'impose. Il faudra concilier ces deux temporalités. Côté opportunités, le numérique permet des observations par ailleurs irréalisables dans les domaines spécifiés. Des capteurs produisent des données à des pas de temps courts et à des niveaux de précisions impossibles sans le numérique. Ces données massives et leur traitement par des outils de simulation permettent de modéliser le vivant et cette production de données est précieuse pour les observatoires de la nature qui opèrent sur le long-terme, notamment pour anticiper les transformations des écosystèmes. Pour les apprenants, la simulation permet d'économiser du temps dans la construction de savoirs et la réalité virtuelle favorise la conceptualisation de phénomènes vivants difficilement observables, mais ces outils ne peuvent probablement pas se substituer entièrement à la pratique en présentiel.

La complexité des objets d'étude, liée aux caractéristiques biophysiques de ces objets et à la diversité des acteurs concernés, est évoquée dans le cadre de l'ESR territorialisé du scénario 3. Ces objets d'étude sont régis par un ensemble d'interactions potentiellement infinies, où interdépendances, incertitudes et controverses sont monnaie courante. Une expérimentation en milieu non contrôlé laisse libre cours à une infinité de variables ni comprises, ni maîtrisées. La question de la relation entre le numérique - le développement d'outils de simulation - et cette complexité est posée. Quelles sont les attentes de la numérisation et de la simplification produite par la modélisation du vivant vis-à-vis de tous les facteurs potentiellement pertinents ? Le risque est que la substitution de l'observation du réel par un double numérique du réel néglige d'importants phénomènes en jeu et fausse l'interprétation des résultats. L'expérimentation *in silico* pourra-t-elle se substituer à l'expérimentation *in situ* ? Le développement d'approches hybrides couplant sciences de la donnée et expérimentation *in situ* semble particulièrement nécessaire dans les domaines spécifiés. En effet, le numérique permet d'accroître les capacités de modélisation et de simulation grâce à l'intelligence artificielle et aux croisements de base de données massives entre des domaines auparavant disjoints, et de traiter ainsi une part de la complexité. Il s'agit d'un nouveau type de travail transdisciplinaire et d'une nouvelle science de la transdisciplinarité qui seraient à développer tant en recherche que dans l'enseignement.

Des dimensions humaines – valeur culturelle de l'agriculture, sensibilité aux questions environnementales ou au bien-être animal, ou dimension intime de l'alimentation – jouent un rôle particulier dans les domaines spécifiés. Dans l'alimentation, une évolution vers le « tous capteurs/tous émetteurs de données » pourrait être perçue comme portant atteinte à cette intimité. La société civile peut devenir plus défensive vis-à-vis de l'entrée du numérique dans cette sphère. Par ailleurs, les interactions de la recherche et de l'enseignement avec les acteurs de terrain, et notamment la construction de la confiance jouent un rôle important dans les domaines spécifiés. La dépendance croissante de l'enseignement et de la recherche vis-à-vis du numérique – remise en question par la limitation des ressources pour le numérique dans le scénario 4 – pourrait affaiblir cette dimension relationnelle.

Les intérêts économiques liés au numérique coexistent avec des critères non économiques. Les domaines spécifiés sont dépendants d'outils numériques commerciaux importants dans l'agriculture de précision, l'agriculture connectée, la gestion du flux de données dans la chaîne des soins vétérinaires, ou les circuits de distribution alimentaire. La transition numérique offre des opportunités de nouveaux marchés de services pour les acteurs privés du numérique, et reconfigure les rôles de la recherche et l'enseignement dans les dynamiques d'innovation. Face à ces intérêts marchands liés au numérique, les domaines spécifiés doivent considérer l'importance stratégique de l'agro-alimentaire, le rôle de la société civile dans les sciences, les grands défis globaux, et plus généralement les biens communs.

## En conclusion

Les quatre scénarios constituent un cadre pour anticiper les risques et les opportunités pour les chercheurs, les enseignants et les établissements de l'ESR dans les domaines de l'agriculture, de l'environnement, de l'alimentation et de la santé animale.

Le numérique induit un déplacement des compétences et des rôles pour les chercheurs comme pour les enseignants. Côté recherche, les outils numériques, les données massives et l'automatisation dans la chaîne de connaissances nécessitent des nouvelles compétences en science des données. Côté enseignement, les ressources numériques et leur accessibilité éloignent

les enseignants de la transmission des connaissances proprement dite et les engagent vers l'accompagnement, le conseil et l'ingénierie pédagogique. Les technologies de la communication ouvrent et facilitent les relations entre chercheurs et enseignants, et une plus grande diversité d'acteurs, de l'innovation économique et de la société civile, où des relations nouvelles sont facilitées en particulier via les réseaux sociaux. La mise en relation de jeux de données auparavant cloisonnés, en plus des liens étendus entre acteurs, participe à la montée en puissance de l'inter et de la trans-disciplinarité. Enfin, le tout numérique semble peu plausible. Plutôt que de les remplacer, le numérique confère de nouveaux rôles aux enseignants et aux chercheurs et leur offre de nouvelles possibilités de relations, virtuelles et réelles.

Les pratiques sont impactées à tous les niveaux organisationnels : institutions, collectifs scientifiques et pédagogiques, et individus (scientifiques et techniciens). Les modes de production (*data-driven*, sciences participatives) et de diffusion de la connaissance évoluent fortement. Pour certaines dynamiques de transformation, impliquant une relation aux grands acteurs privés du numérique et une stratégie sur les données et le développement des outils de traitement, les institutions de l'ESR dans les domaines spécifiés devront préciser leur position. D'autres dynamiques, comme la contrainte imposée sur le numérique par la limitation de l'énergie et de certaines ressources naturelles, sont à anticiper à plus long terme. L'affirmation de relations nouvelles vis-à-vis d'une diversité croissante d'acteurs non scientifiques, entreprises ou groupe de citoyens, telle qu'illustrée par la territorialisation de l'ESR, est une tendance en cours qui appelle à réfléchir sur l'organisation et la structuration d'un écosystème numérique local. Enfin, une réflexion reste à poursuivre sur les infrastructures de données et de traitement des données, ainsi que sur les relations entre recherche et enseignement, pour répondre aux défis globaux qui sont au cœur du travail des scientifiques dans les domaines de l'agriculture, de l'environnement, de l'alimentation et de la santé animale. Ce type de réflexion peut prendre la forme d'approfondissements spécifiques conduits par les acteurs intéressés en prenant comme point de départ les atouts, les opportunités, les vulnérabilités et les menaces identifiés et en réfléchissant aux actions faisables et souhaitables au regard des risques à venir et des bénéfices attendus.

### **Méthodologie**

*Menée de janvier 2018 à juin 2019, cette prospective s'est appuyée sur une méthode dite « des scénarios » basée sur une analyse morphologique. Elle a mobilisé un groupe de travail multi-institutionnel et pluridisciplinaire, une équipe projet et un comité de suivi INRA-Agreenium. Le système de la prospective a été défini par sept composantes intégrant chacune trois à cinq variables. Une analyse rétrospective et prospective de ce système a été menée collectivement pour étudier pour chaque variable, leur évolution passée et leurs futurs possibles. Les réflexions ont été enrichies par trois interventions : sur l'avenir des sciences de l'éducation, sur le numérique dans les soins et stratégies vétérinaires, et sur l'intelligence artificielle dans l'apprentissage. Les hypothèses d'évolution ont été formulées à partir d'une analyse des évolutions tendancielles des variables étudiées, de leurs ruptures possibles et des signaux faibles. Ces hypothèses ont été mises en débats lors de deux ateliers en focus groups avec 42 ingénieurs pédagogiques d'Agreenium et membres de la formation permanente de l'INRA, chercheurs et enseignant-chercheurs. A l'issue de cet exercice, le groupe de travail a construit plus d'une vingtaine d'hypothèses d'évolution des composantes du système. Ces hypothèses ont été relues par un groupe d'étudiants élus (Conseil national de l'enseignement supérieur et de la recherche en agronomie, alimentation et sciences vétérinaires, Conseil d'administration d'Agreenium). Elles ont ensuite été combinées par le groupe de travail afin d'élaborer quatre scénarios finaux contrastés d'évolution à 2040. Pour préparer le terrain en amont de l'élaboration stratégique et de l'identification des leviers d'action, le groupe de travail a identifié des enjeux de la transition numérique pour l'ESR au regard des changements envisagés dans les quatre scénarios.*

### **Groupe de travail**

Georges-Louis Baron (Université Paris-Descartes) ; François Bouchet (Sorbonne Université) ; Juliette Dibie-Barthelemy (AgroParisTech) ; Jean-François Gibrat (INRA) ; Simon Hodson (CODATA) ; Evelyne Lhoste (INRA) ; Yann Moulier-Boutang (UTC Compiègne) ; Sébastien Perrot (ENVA) ; Fabrice Phung (MTES) ; Christian Pichot (INRA) ; Mehdi Siné (ACTA) ; Thierry Venin (Université de Pau et des Pays de l'Adour).

### **Comité de suivi**

Sandra Arrault (INRA DRHDD) ; Michaël Chelle (DTN INRA) ; Nicolas de Menthière (Agreenium – IRSTEA) ; Philippe Prévost (Agreenium) ; Guy Richard (INRA DEPE) ; Cécile Tournu-Sammartino (INRA DRHDD) ; Luc Mounier (Agreenium - VetAgro-Sup) ; Stéphane de Tourdonnet (Agreenium -Montpellier SupAgro).

### **Equipe projet**

Geneviève Aubin-Houzelstein (INRA), Marco Barzman (INRA), Alain Bénard (INRA), Mélanie Gerphagnon (INRA - Agreenium), Caroline Martin (INRA), Olivier Mora (INRA).

**Remerciements** aux personnes ayant participé aux focus group et auditions (Voir liste complète dans le rapport).

**Contact** : Marco Barzman : marco.barzman@inra.fr – INRA-DEPE, 147 Rue de l'Université 75007 Paris, France.

**Pour en savoir plus** : Rapport de la Prospective Transition numérique et pratiques de recherche et d'enseignement supérieur en agronomie, environnement, alimentation et sciences vétérinaires à l'horizon 2040. M. Barzman, M. Gerphagnon, O. Mora (Coord.), et al. Juin 2019.

Photo de couverture : d'après R. Delaunay, La fenêtre sur la ville no. 3, Wikipédia commons, saturation couleur de G. Aubin-Houzelstein



Délégation à l'Expertise scientifique collective, à la Prospective et aux Études

147, rue de l'Université  
75338 Paris Cedex 07  
France

Tél. : + 33(0) 1 42 75 94 90  
www.inra.fr

