



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

RAPPORT DE LA PROSPECTIVE - OCTOBRE 2019

Marco Barzman, Mélanie Gerphagnon et Olivier Mora, coordinateurs



La prospective *Transition numérique et pratiques de recherche et d'enseignement supérieur en agronomie, environnement, alimentation et sciences vétérinaires à l'horizon 2040* est le résultat d'une réflexion menée par un ensemble d'experts de janvier 2018 à juin 2019 lors d'une dizaine de réunions, et répartis en trois groupes : un groupe de travail responsable de la construction des scénarios, un comité de suivi en charge du suivi institutionnel, et une équipe projet en charge de la conduite et de la construction de l'étude prospective.

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 (Université de Technologie de Compiègne)
Sébastien Perrot (ENVA)
Fabrice Phung (Ministère de la Transition écologique et solidaire)
Christian Pichot (INRA)
Mehdi Siné (ACTA)
Thierry Venin (Université de Pau et des Pays de l'Adour)

Comité de suivi

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

Equipe projet

Geneviève Aubin-Houzelstein (INRA DRH)
Marco Barzman (INRA DEPE)
Alain Bénard (INRA DTN)
Mélanie Gerphagnon (INRA DEPE - Agreenium)
Caroline Martin (INRA DSI - Agreenium)
Olivier Mora (INRA DEPE)

Pour citer ce document :

Barzman M. (Coord.), Gerphagnon M. (Coord.), Mora O. (Coord.), Aubin-Houzelstein G., Bénard A., Martin C., Baron G.L, Bouchet F., Dibie-Barthélémy J., Gibrat J.F., Hodson S., Lhoste E., Moulier-Boutang Y., Perrot S., Phung F., Pichot C., Siné M., Venin T. 2019. *Transition numérique et pratiques de recherche et d'enseignement supérieur en agronomie, environnement, alimentation et sciences vétérinaires à l'horizon 2040*. INRA, France, 161 pages.

Remerciements

L'équipe projet tient à remercier l'ensemble des membres du groupe de travail pour leur implication tout le long de cette prospective. Elle remercie également toutes les personnes, (dont la liste est donnée ci-dessous) ayant participé aux focus groupes, aux auditions et aux consultations. Leurs participations et points de vue ont largement contribué à ce travail.

Avignon Denis	Conseil National de l'Ordre des Vétérinaires	Larcher Thibaut	INRA
Bergez Jacques-Eric	INRA	Laurent Sylvie	INRA
Bourgogne Philippe	AgroCampus Ouest	Laxenaire Hélène	Montpellier SupAgro
Boutet Anne-Charlotte	Bordeaux Sciences Agro	Lemarié Stéphane	INRA
Buff Samuel	VetAgro Sup	Marechal Pierre-André	AgroSup Dijon
Dubois Martine	INRA DDRH	Mutel Adeline	INRA
Federspiel Brigitte	INRA FPN	Noguet Stéphanie	INRA FPN
Fitoussi Gérome	AgroParisTech	Nouvel Xavier	ENVT
Garnier Patricia	INRA	Pivon Véronique	ENSAT
Girerd Stéphane	AgroSup Dijon	Pleinet Sophie	INRA
Gomez Anaïs	INRA DDRH	Ponts Nadia	INRA
Grac Corinne	ENGEES	Purseigle François	ENSAT
Guidoni-stoltz Dominique	AgroSup Dijon	Quesneville Hadi	INRA
Guyet Thomas	AgroCampus Ouest	Rose Julien	Montpellier SupAgro
Herry Catherine	INRA	Rousseau Marion	Université de Nantes
Hervé Camille	Agreenium	Sehlaoui Khadija	INRA FPN
Hoch Dany	INRA FPN	Serrand Yann	INRA
Jarousseau Chloë	AgroSup Dijon	Suciu Ioana	INRA
Juille Françoise	INRA FPN	Taillandier Patrick	INRA
Kuhn Estelle	INRA	Théron Olivier	INRA
Landès Claudine	INRA	Vaille Flavien	AgroParis Tech
Langouet Thierry	AgroSup Dijon	Vuillot Alexandre	AgroSup Dijon
		Werdenberg Françoise	INRA FPN

Table des matières

Préface	3
1. Introduction	5
2. Méthodologie	7
3. Rétrospectives, tendances actuelles et hypothèses d'évolution du système de l'ESR face au numérique	14
3.1. Pratiques de recherche	15
3.1.1 Les transformations des collectifs de recherche	15
3.1.2 Production de connaissances	17
3.1.3 Processus de validation des connaissances.....	22
3.1.4 Métiers et articulation des compétences disciplinaires et numériques	23
3.1.5 Hypothèses d'évolution à 2040 des pratiques de recherche	26
3.2. Pratiques d'enseignement et de formation	28
3.2.1 Contenu des formations.....	28
3.2.2 Outils d'enseignement et de formation.....	30
3.2.3 Accès à la formation	32
3.2.4 Modalités de formation et de certification.....	33
3.2.5 Relation entre formation initiale et continue	36
3.2.6 Hypothèses d'évolution à 2040 des pratiques d'enseignement et de formation	37
3.3. Données	39
3.3.1 Production et stockage des données	40
3.3.2 Traitement des données	41
3.3.3 Qualité des données.....	42
3.3.4 Modalité de circulation des connaissances et données	44
3.3.5 Hypothèses d'évolution à 2040 pour la composante « Données »	46
3.4 Interactions de l'ESR avec la société	47
3.4.1 Place de l'ESR dans son écosystème	48
3.4.2 L'ESR et la communication avec les médias et les citoyens	50
3.4.3 Evaluation de l'ESR par la société.....	53
3.4.4 Hypothèses d'évolution à 2040 des interactions de l'ESR avec la société	54
3.5. Ethique et cultures numériques dans l'ESR	56
3.5.1 Education numérique des chercheurs, enseignants et enseignants chercheurs ...	56
3.5.2 Place du scientifique et de l'enseignant dans la société.....	58
3.5.3 Circulation des enjeux éthiques entre l'ESR et la société	61
3.5.4 Statut juridique des données et des contenus	62
3.5.5 Hypothèses d'évolution à 2040 de l'éthique et des cultures numériques	63

3.6. Contexte : société, économie et politique	65
3.6.1 Sensibilisation aux défis environnementaux	65
3.6.2 Le numérique dans la société	66
3.6.3 L'économie numérique	68
3.6.4 Politique et acteurs du numérique	70
3.6.5 Hypothèses d'évolution à 2040 du contexte.....	72
3.7. Organisation institutionnelle de l'ESR	73
3.7.1 Structuration des organisations	73
3.7.2 Pilotage et stratégie des institutions	74
3.7.3 Métiers et compétences.....	76
3.7.4 Modèle économique de l'ESR.....	77
3.7.5 Hypothèses d'évolution à 2040 de l'organisation institutionnelle de l'ESR	78
4. Scénarios	80
4.1. Analyse morphologique du système en 2040.....	81
4.2. Scénarios.....	82
4.2.1 Scénario 1 : L'ESR aux pieds des géants du numérique	82
4.2.2 Scénario 2 : L'ESR et le numérique pour la préservation de la planète.....	83
4.2.3 Scénario 3 : Les écosystèmes numériques territorialisés de l'ESR.....	84
4.2.4 Scénario 4 : L'ESR face à la frugalité numérique.....	85
5. Enjeux des scénarios	87
5.1. Scénario 1 – Plateformisation de la recherche et de l'enseignement, et captation des données par des firmes privées	87
5.2. Scénario 2 – Enjeux environnementaux globaux et internationalisation de la recherche et de l'enseignement supérieur	91
5.3. Scénario 3 – Ancrage territorial de l'ESR et organisation multi-acteurs.....	94
5.4. Scénario 4 – Limitation des ressources et sobriété numérique.....	97
6. Enseignements des scénarios	99
6.1. Les spécificités des domaines concernés	99
6.2. Les enjeux des scénarios pour la recherche	100
6.3. Les enjeux des scénarios pour l'enseignement supérieur	103
6.4. En conclusion	105
7. Références bibliographiques	107
8. Annexe – Définition, tendances et hypothèses d'évolution des variables..	116

Préface

Marion Guillou et Philippe Mauguin

A l'origine de cette étude prospective, plusieurs réflexions collectives, à l'Inra et au sein du collectif que représente Agreenium, ont convergé sur l'importance d'anticiper l'impact de la transition numérique sur les activités de recherche et d'enseignement supérieur. Au sein de l'Inra, ce besoin d'anticipation a émergé conjointement à la direction des ressources humaines et du développement durable, qui réfléchit aux évolutions des activités des personnels de la recherche pour une bonne gestion des emplois et des compétences mais aussi aux impacts sur les organisations et façons de travailler, et du délégué scientifique à la transition numérique, qui a mission de préparer l'Institut aux changements induits par le caractère disruptif des technologies numériques. A l'échelle d'Agreenium, la réflexion sur la transformation pédagogique liée à la transition numérique, à la suite des travaux du Conseil national du Numérique, a rapidement débouché sur le besoin de maîtriser les enjeux du numérique dans l'enseignement supérieur, pour mieux anticiper les impacts aux différents niveaux d'organisation et aux échelles collective et individuelle. Ces besoins convergents et complémentaires ont conduit l'Inra et Agreenium à confier à la Délégation à l'expertise scientifique collective, à la prospective et aux études de l'Inra une étude prospective pour envisager les conséquences de la transition numérique portant sur les pratiques de recherche et les pratiques d'enseignement supérieur.

Cette étude prospective a été conduite selon la « méthode des scénarios », qui permet d'explorer les futurs possibles en prenant en compte la complexité du système, les interrelations entre les différents facteurs en jeu, et les incertitudes. Elle a mobilisé une équipe projet et un groupe d'experts pendant dix-huit mois. La production ressortant de leur travail est impressionnante, tant par la quantité des contributions analysées (publications scientifiques, rapports d'études, dires d'experts, focus groupes, ...), que par la qualité du rapport. Que tous les contributeurs soient donc ici doublement remerciés, d'abord pour avoir participé à cette aventure collective que constitue toujours une étude prospective, mais aussi parce que le travail consenti a été intense tout au long de ces dix-huit mois.

Si les commanditaires à l'origine du cahier des charges de l'étude avaient imaginé que le périmètre thématique allait permettre de limiter le champ d'investigation, il est très vite apparu que les domaines avaient finalement peu d'influence et que les travaux menés pouvaient concerner l'ensemble de l'enseignement supérieur et de la recherche (ESR), qu'il soit français ou non.

S'il est trop tôt pour envisager la façon dont les responsables de la recherche et de l'enseignement supérieur vont se les approprier, nous considérons, à notre niveau de

responsabilité dans un système d'enseignement supérieur et de recherche, que nous devons engager rapidement une stratégie collective pour prendre ce qui nous paraît le meilleur dans chacun des scénarios contrastés proposés, et plus généralement anticiper pour éviter le pire. Cette étude, qui a pris en compte les principales dimensions de l'activité de recherche et d'enseignement supérieur, en l'organisant en sept composantes (organisation institutionnelle de l'ESR, pratiques d'enseignement et de formation, éthique et culture numérique, données, interactions de l'ESR avec la société, pratiques de recherche, contexte sociétal), aboutit en effet à des propositions paradoxales qui peuvent souvent inquiéter, alors qu'il y a des chemins de progrès humain considérable permis par la transition numérique. Comment profiter de l'immense apport de la plateformes dans la production et le partage des connaissances, sans prendre le risque que les données soient captées et monétisées par des entreprises mondialisées ? Quelle organisation et quel pilotage de l'ESR aux différentes échelles (mondiale, continentale, nationale, régionale) si l'on considère que la connaissance est un bien commun ? Comment concilier le développement des usages des outils numériques pour la recherche et l'enseignement supérieur et la frugalité dans la consommation d'énergie et de terres rares qui s'imposera un jour ou l'autre à tous ? Ces quelques questions trouvent des éléments de réponse dans l'analyse des enjeux pour la recherche et pour l'enseignement supérieur de chacun des scénarios envisagés, et nous devons donc chercher la bonne combinaison pour tracer le chemin désirable. La transition numérique est une véritable opportunité pour la recherche et l'enseignement supérieur, sous réserve que les choix d'aujourd'hui créent les conditions de poursuite de l'émancipation humaine dans une nature préservée.

Enfin, l'étude prospective se projetant à l'horizon 2040, il nous faut décider maintenant pour la génération qui va suivre, afin d'éviter de reproduire la « dépendance au sentier » que nous connaissons aujourd'hui dans d'autres activités face à des enjeux nouveaux. Après ce chantier doit donc en venir un nouveau : celui de l'élaboration d'une stratégie collective pour notre système d'enseignement supérieur et de recherche, que ce soit par grandes thématiques aux différents niveaux de politiques publiques (en particulier française et européenne), ou dans les négociations internationales (pour la bonne répartition des pouvoirs publics et des pouvoirs privés). Nous espérons humblement que cette étude prospective, menée dans un champ thématique à nombreux défis d'avenir mais pour lequel il n'était pas naturel d'associer recherche et enseignement supérieur, va être à l'origine d'un engagement sans précédent pour affirmer une volonté politique permettant la réussite de la transition numérique dans l'ensemble du système d'enseignement supérieur et de recherche.



1. Introduction

Mélanie Gerphagnon et Marco Barzman

La **transition numérique** impacte tous les secteurs d'activités. 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 sciences agronomiques, de l'environnement, de l'alimentation et vétérinaires.

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 renforcera-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 façons de produire, de valider et de faire circuler la connaissance. Les données massives favorisent les approches abductives basées sur la fouille de données tandis que les outils d'intelligence artificielle et de simulation en émergence transforment les pratiques 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 nos

objets d'étude, agriculture numérique, *foodtech*, e-santé, sciences vétérinaires connectées, etc. Face à ces changements, quelle sera la place du numérique dans la recherche en 2040 ?

Cette étude prospective, commanditée par l'INRA et Agreenium, explore l'évolution des rôles et des pratiques dans la recherche et l'enseignement supérieur en agronomie, environnement, alimentation et santé animale face à la transition numérique. Au-delà de ces domaines d'application, cette initiative traite des questions pertinentes pour un large éventail d'acteurs concernés par le fonctionnement de la recherche, l'apprentissage et les modes de partage des savoirs, de l'enjeu des données dans l'économie numérique et de nouvelles relations entre la science et la société.

Ce rapport présente le travail effectué en quatre sections principales :

- Le Chapitre 2 (Méthodologie) décrit les méthodes et démarches adoptées pour élaborer quatre scénarios et identifier les enjeux majeurs pour le devenir de la recherche et l'enseignement supérieur publics.
- Le Chapitre 3 (Rétrospectives, tendances actuelles et hypothèses d'évolution) synthétise le travail effectué sur les tendances passées et actuelles (rétrospectives), ainsi que sur les hypothèses d'évolution identifiées pour les différentes composantes du système. Elles concernent les pratiques de recherche, les pratiques d'enseignement et de formation, les données, les interactions de l'ESR avec la société, l'éthique et les cultures numériques dans l'ESR, le contexte (société, économie et politique) et l'organisation institutionnelle de l'ESR.
- Le Chapitre 4 présente les quatre scénarios contrastés d'évolution à l'horizon 2040.
- Le Chapitre 5 (Enjeux des scénarios) et le Chapitre 6 (Enseignements des scénarios) présentent les résultats d'une analyse des enjeux (en termes d'opportunités et de risques) et les enseignements identifiés à partir des scénarios et des grandes questions qu'ils mettent en lumière.



2. Méthodologie

Marco Barzman et Olivier Mora

L'objectif de cette prospective est d'anticiper les conséquences à venir des évolutions engendrées par la transition numérique sur la recherche et l'enseignement supérieur en particulier dans les domaines d'applications que sont l'agriculture, l'alimentation, l'environnement et la santé animale – domaines de compétences de l'INRA et des autres membres d'Agreenium. Afin d'appréhender un large éventail des évolutions possibles en tenant compte des incertitudes et des interdépendances, cette prospective a été conduite selon une méthode systémique à caractère exploratoire.

Le choix de la méthode des scénarios

La prospective s'est appuyée sur la méthode des scénarios basée sur l'analyse morphologique d'un système (Godet, 2000 ; de Jouvenel 2004). Cette méthode permet d'appréhender les évolutions de long terme, en intégrant les discontinuités et les ruptures éventuelles.

A travers la série d'étapes décrites ci-dessous, cette méthode permet de construire une diversité de scénarios exploratoires répondant aux critères de pertinence, cohérence, plausibilité, transparence et contraste. La construction des scénarios s'appuie sur des combinaisons d'hypothèses d'évolution et se traduit par la production de récits où les chaînes de causalité sont explicitées. Les scénarios élaborés visent à renouveler les regards et les questionnements sur les transformations actuelles et à venir, auxquelles il convient de se préparer, ainsi que sur les actions à engager. Ils visent à contribuer aux débats et aux questionnements sur les évolutions en cours et à faciliter l'anticipation des enjeux futurs et l'identification des leviers d'action pour y répondre. Le travail de prospective prépare donc le terrain en éclairant les futurs possibles en amont de l'élaboration stratégique.

Organisation de la prospective

La transition numérique touche de multiples façons un grand nombre d'activités et de secteurs, et ce large spectre d'effets concerne également la recherche et l'enseignement supérieur. Pour prendre en compte les effets systémiques, la prospective s'est appuyée sur un groupe de participants multi-institutionnels, pluridisciplinaire, incluant des acteurs partie-prenante.

L'organisation de la prospective a été structurée en trois groupes¹.

a. Comité de suivi

Le comité de suivi a orienté tout au long de l'étude le déroulement de l'étude en fonction des résultats préliminaires, du calendrier de la réalisation de l'étude prévu, et des objectifs définis. Il regroupait des représentants INRA et Agreenium, soit les commanditaires de l'opération.

b. Groupe de travail

Le groupe de travail a assuré, avec l'équipe projet, l'analyse rétrospective du système et la construction des scénarios. Il était composé d'acteurs issus de la recherche, de l'enseignement supérieur, des collectivités territoriales, du développement agricole, et de la coordination internationale.

c. Equipe projet

L'équipe projet a conduit l'exercice au quotidien en assurant l'animation globale de l'exercice et notamment des ateliers avec le groupe de travail ainsi que les synthèses bibliographiques ayant servi de support aux discussions internes, et la mise en forme des travaux.

Collectivement, les domaines d'expertise des membres du groupe de travail et de l'équipe projet couvraient les systèmes d'information, la politique des données, les ressources humaines, les sciences vétérinaires, l'agronomie, la génétique, la bio-informatique, la sociologie, les sciences de l'éducation, la sociologie du travail, et l'économie.

Les étapes de la prospective

a. Le cadrage du sujet

Dans la phase de cadrage, le groupe de travail a discuté et s'est accordé sur l'horizon temporel de la prospective et sur son périmètre thématique.

L'horizon de la prospective a été fixé à 2040. Ni trop lointain, ni trop proche, cet horizon répondait à la nécessité d'envisager, d'une part, des ruptures possibles et la généralisation de signaux faibles, notamment les transformations des usages numériques en lien avec les changements générationnels, et, d'autre part, de prendre de la distance vis-à-vis des enjeux immédiats et de court terme pour étudier des transformations plus systémiques.

La transition numérique impacte de nombreux secteurs d'activités, depuis la gouvernance mondiale jusqu'aux relations sociales des individus. Il est donc particulièrement important de clarifier le périmètre thématique pour éviter de se perdre dans une analyse excessivement globalisante. Il faut aussi veiller à prendre en compte l'ensemble des modifications générées par le numérique qui sont pertinentes pour le sujet de cette prospective. En effet, la transition

¹ La liste des membres des différents groupes est présentée en introduction de ce rapport.

numérique est une transformation sociétale qui impacte à la fois les pratiques de recherche et d'enseignement ainsi que de grandes questions politiques, sociales et économiques.

b. L'identification des composantes et variables définissant le système

Dans une seconde phase le groupe de travail a identifié les facteurs déterminants du devenir de l'enseignement supérieur et de la recherche dans le cadre de la transition numérique. Ils sont présentés sous forme de composantes, et chaque composante est découpée en plusieurs variables. L'ensemble des composantes et de leurs variables constitue le « système » de la prospective.

Le groupe de travail a d'abord identifié les grands enjeux du numérique pour la recherche et l'enseignement à l'horizon 2040. Puis ces enjeux ont été regroupés afin de définir des domaines thématiques relativement indépendants, considérés comme les composantes du système. Le système ainsi défini comprend les sept composantes indiquées dans la Figure 1.

Pratiques de recherche					
Pratiques d'enseignement et de formation					
Données					
Interactions de l'ESR avec la société					
Ethique et culture numérique					
Contexte : société, économie et politique					
Organisation institutionnelle de l'ESR					

Figure 1 : Les sept composantes du système

Chaque composante est définie par une série de variables qui permettent de la décrire. Comme leur nom l'indique, les variables varient, qualitativement ou quantitativement, au cours du temps. Elles sont constitutives de la composante. Pour cette prospective, chaque composante a été défini par trois à quatre variables.

c. L'analyse rétrospective des variables et leurs hypothèses d'évolution possible à l'horizon 2030

La troisième phase de la prospective consiste, pour chaque variable, à construire une base de connaissance des dynamiques passées et en cours, puis à élaborer des hypothèses d'évolution spécifiques à la variable en question.

Dans un premier temps, une revue de la littérature menée par l'équipe projet et discutée par le groupe de travail a permis de dégager les tendances passées et en cours de chacune des variables. Ce travail qui correspond à l'analyse rétrospective du système est présenté en détail dans le chapitre 3.

Dans un second temps, l'analyse des tendances passées des variables et l'identification des signaux faibles et des ruptures possibles ont servi de base à l'élaboration d'hypothèses d'évolution des variables à l'horizon 2040. Ces hypothèses d'évolution des variables sont nombreuses (94) et sont présentées en annexe. Les variables et les hypothèses d'évolution des variables sont schématisées dans la figure 2 ci-dessous à travers l'exemple de la composante Pratiques de recherche.

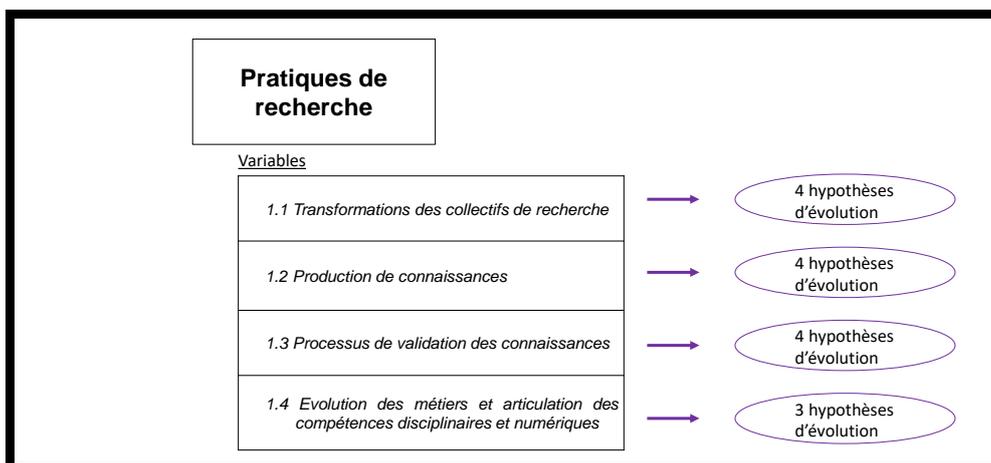


Figure 2 : Découpage en variables et construction d'hypothèses d'évolution des variables d'une composante

d. La construction des scénarios

Au sein de chaque composante, le groupe de travail a combiné les hypothèses d'évolution de chaque variable selon des agencements cohérents, plausibles, pertinents et contrastés pour aboutir à des hypothèses d'évolution des composantes. A titre d'exemple, le processus de formulation d'hypothèses d'évolution d'une composante à partir d'hypothèses d'évolution de variables est présentée pour la composante « Pratique de recherche » dans la Figure 3 ci-dessous. On obtient ainsi un jeu de 31 hypothèses d'évolution possible des composantes. Ces hypothèses sont présentées dans le chapitre 3 à la fin de chaque section décrivant les dynamiques passées et futures des composantes.

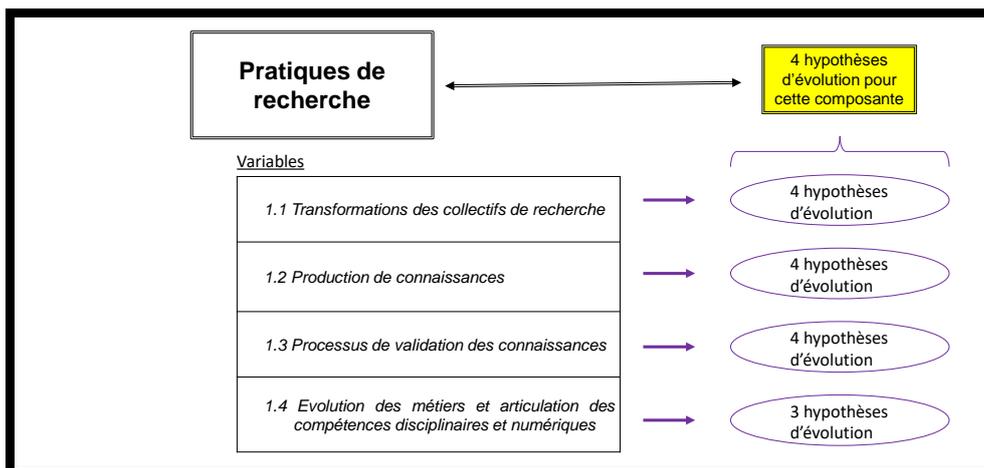


Figure 3 : Formulation des hypothèses d'évolution d'une composante (en jaune) à partir des hypothèses d'évolution des variables

Les hypothèses d'évolution des composantes ont ensuite été regroupées dans un tableau dit « morphologique » – ce tableau figure au début du chapitre 4 – qui a permis la construction des scénarios. A l'aide de ce tableau, le groupe de travail a combiné les hypothèses d'évolution des composantes pour construire quatre scénarios. Une combinaison d'hypothèses d'évolution de composantes (les « xxx » surlignés) constituant un scénario x est schématisée dans la figure 4 ci-dessous.

Composantes	Hypothèse d'évolution 1	Hypothèse d'évolution 2	Hypothèse d'évolution 3	Hypothèse d'évolution 4	Hypothèse d'évolution 5
Pratiques de recherche	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Pratiques d'enseignement et de formation	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Données	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Interactions de l'ESR avec la société	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Ethique et culture numérique	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Contexte : société, économie et politique	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Organisation institutionnelle de l'ESR	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx

↓
Scénario x

Figure 4 : Construction schématique des scénarios par agencement d'hypothèses d'évolution des composantes dans le tableau morphologique.

Les scénarios ont été construits avec les objectifs de pertinence par rapport à la question de départ, de cohérence interne en proposant une combinaison d'hypothèses non-contradictaires entre elles, de plausibilité au regard des évolutions en cours, et d'intérêt pour les acteurs concernés. La finalité était de construire des scénarios suffisamment contrastés pour identifier le maximum de risques et d'opportunités associés à la transition numérique.

En parallèle aux étapes décrites précédemment, l'équipe projet a enrichi et affiné le travail mené avec le groupe de travail par trois approfondissements complémentaires.

Pour enrichir la réflexion sur les perspectives d'avenir associées à l'enseignement en général, à l'intelligence artificielle dans l'apprentissage et au numérique dans la santé animale, trois auditions ont été organisées lors d'ateliers du groupe de travail :

- Prospective PREA2K30 – « Education et apprentissages à l'horizon 2030 », présentée le 23 mai 2018 par Georges-Louis Baron de l'Université Paris-Descartes
- « Panorama de l'intelligence artificielle pour l'éducation », présenté le 10 septembre 2018 par François Boucher de Sorbonne Universités
- Prospective VetFuturs – « Evolution du numérique dans les soins vétérinaires et stratégies à adopter par la profession », présentée le 10 septembre 2018 par Denis Avignon du Conseil National de l'Ordre des Vétérinaires.

Deux ateliers participatifs du type « focus group » ont été menés pour apporter un regard critique sur les hypothèses d'évolution des composantes sur les pratiques d'enseignement, de formation et de recherche, et enrichir la réflexion prospective. Les focus groups font appel à des formes d'animation dynamique, participative et collective. Des petits groupes de trois à quatre participants ont effectués des rotations rapides d'une station à une autre en discutant et notant leurs commentaires. Le travail en petits groupes a alterné avec des discussions en réunion plénière. Ces ateliers ont été organisés :

- le 18 octobre 2018 avec une quinzaine d'ingénieurs pédagogiques d'Agreenium et de responsables formations de l'INRA
- le 22 octobre 2018 avec une quinzaine d'enseignants-chercheurs d'Agreenium et de chercheurs de l'INRA.

Avec des objectifs similaires, des consultations d'étudiants ont eu lieu. Les hypothèses d'évolution ont été proposées à un groupe d'étudiants élus au conseil national de l'enseignement supérieur et de la recherche en agronomie, alimentation et sciences vétérinaires, et au conseil d'administration d'Agreenium, afin d'obtenir leur point de vue.

A l'issue de ce travail, le groupe de travail et l'équipe projet ont établi quatre scénarios qui sont présentés dans le chapitre 4. Ceux-ci se présentent sous la forme de récits basés sur une articulation des hypothèses d'évolution des composantes. Pris ensemble, ce jeu de scénario est conçu pour rendre compte de la pluralité des futurs possibles, et ainsi de décrire l'éventail des futurs qu'il convient d'anticiper.

e. Les enjeux des scénarios pour la recherche et l'enseignement supérieur

Pour faciliter l'appropriation des scénarios et leur usage stratégique, le groupe de travail a consacré un atelier à une réflexion sur les enjeux de la transition numérique pour l'ESR au regard des changements envisagés dans les quatre scénarios. Ceux-ci ont été élaborés à travers un exercice « SWOT » – atouts et vulnérabilités des institutions, opportunités et menaces – pour les établissements de recherche et d'enseignement supérieur en agronomie, environnement, alimentation et santé animale. Les résultats de ce travail sont présentés dans les chapitres 5 et 6.



3. Rétrospectives, tendances actuelles et hypothèses d'évolution du système de l'ESR face au numérique

Mélanie Gerphagnon, Geneviève Aubin-Houzelstein, Marco Barzman, Alain Bénard, Caroline Martin, Olivier Mora, Georges-Louis Baron, François Bouchet, Yann Moulrier-Boutang, Jean-François Gibrat, Evelyne Lhoste, Sébastien Perrot, Fabrice Phung, Christian Pichot, Mehdi Siné

Afin d'élaborer des scénarios plausibles, contrastés et cohérents au vu des connaissances actuelles, il est nécessaire d'appuyer le raisonnement prospectif sur une analyse rétrospective des dynamiques du système. Ce chapitre présente les analyses rétrospectives et les hypothèses d'évolution des sept composantes formant le système. Pour mémoire, chaque composante comprend trois à cinq variables qui sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 1 : Les composantes et leurs variables

Composantes	Variables caractérisant la composante
Pratiques de recherche	Transformation des collectifs de recherche Production de connaissances Processus de validation des connaissances Métiers et articulation des compétences disciplinaires et numériques
Pratiques d'enseignement et de formation	Contenu des formations Outils d'enseignement et formation Accès à la formation Modalités de formation et de certification
Données	Production et stockage des données Traitement des données Qualité des données Modalité de circulation des connaissances et données
Interactions de l'ESR avec la société	Place de l'ESR dans son écosystème L'ESR et les médias Evaluation de l'ESR par la société
Ethique et cultures numériques	Education numérique des chercheurs et enseignants-chercheurs Place du scientifique et de l'enseignant dans la société Circulation des enjeux éthiques entre l'ESR et la société Statut juridique des données et des contenus à des fins de recherche et d'enseignement
Contexte : Société, économie et politique	Sensibilisation aux défis environnementaux Le numérique dans la société L'économie numérique Politique et acteurs du numérique
Organisation institutionnelle de l'ESR	Structuration des organisations Pilotage et stratégie Métiers et compétences Modèle économique de l'ESR

Chaque section de ce chapitre est consacrée à une composante. Pour chacune des variables décrivant la composante, sont présentés les tendances actuelles, les signaux faibles et les ruptures possibles identifiés à travers une revue de la littérature et des discussions d'experts. Chaque section se termine par une présentation des hypothèses d'évolution de la composante en 2040. Les hypothèses d'évolutions formulées pour chaque variable – et donc beaucoup plus détaillées – sont présentées en annexe.

L'ensemble de ces analyses permet *in fine* de définir les différentes hypothèses d'évolution à 2040 de chaque composante, qui seront mobilisées dans la construction des scénarios (voir chapitre 4).

3.1. Pratiques de recherche

Olivier Mora, Geneviève Aubin-Houzelstein, Mélanie Gerphagnon, Jean-François Gibrat, Yann Moulier-Boutang

Cette composante traite des conséquences du numérique sur l'évolution des pratiques de recherche proprement dites sous quatre angles : les collectifs de recherche, la production de connaissances, les processus de validation des connaissances, et l'évolution des métiers de la recherche. Dans cette section, une première partie examine l'évolution des collectifs de recherche. Une seconde partie envisage les transformations des processus de production de connaissance et l'émergence de nouveaux types de raisonnement et d'élaboration des connaissances liés aux données massives et aux intelligences artificielles. Une troisième partie s'interroge sur les modalités de validation et de diffusion des connaissances ouvertes. Enfin, la dernière partie explore la façon dont les sciences de la donnée peuvent modifier le paysage des champs disciplinaires, en favorisant l'interdisciplinarité et l'émergence de chercheurs en sciences de la donnée, et influencer le contenu même de la connaissance.

3.1.1 Les transformations des collectifs de recherche

Une flexibilité et une complexification progressives des collectifs de recherche

L'affirmation de collectifs à durée déterminée basés sur les réseaux individuels de chercheurs

Jusque vers les années 2000, les collectifs de recherche publics étaient stables, fortement ancrés dans leur laboratoire et département d'origine. Le développement de la recherche sur projet, lancé dès les années 1980, s'est institutionnalisé avec la création de l'ANR en 2005, la loi de programme pour la recherche, et la mise en place concomitante d'appels d'offres européens. Le mode projet a augmenté la flexibilité des équipes, favorisé les collaborations nationales et internationales, tout en affaiblissant le lien du porteur de projet avec son unité de recherche puisque celui-ci peut disposer directement d'une autonomie financière. Le mode projet a entraîné une instabilité des collectifs de recherche centrés autour du porteur

de projet, une plus grande précarisation des jeunes chercheurs engagés le temps du projet, ainsi qu'une certaine perte de sens pour certaines catégories de personnel, en particulier les techniciens, qui passent de projet en projet sans continuité dans leurs activités. La carrière des chercheurs est liée à l'obtention de tels contrats et cela a développé un certain individualisme et un esprit de compétition dans la course à l'excellence (Roddaz, 2017).

L'importance des infrastructures de recherche dans la constitution des collectifs

La recherche par mode projet a changé l'échelle des collaborations, qui sont devenues de plus en plus internationales, avec des consortiums parfois de très grande taille, à budget très conséquent, mais également à fonctionnement complexe et très lourd d'un point de vue administratif. Les instituts de recherche, conscients des enjeux financiers et de reconnaissance internationale liés à l'obtention de contrats de ce type, ont développé des politiques spécifiques afin de promouvoir et faciliter ces collaborations de grande envergure.

Ces contrats ont permis de développer des infrastructures de recherche à portée nationale et internationale autour desquelles se fédèrent des collectifs de recherche. Les grands équipements peuvent constituer des lieux importants de collaboration scientifique, générateurs de nouveaux projets et non pas uniquement des instruments de service (Aggeri *et al.*, 2007). Ces infrastructures génèrent de grandes quantités de données et utilisent des outils numériques puissants pour gérer et analyser les résultats.

Un élargissement des collectifs de recherche : des collaborations facilitées et transformées par les outils numériques

Les chercheurs ont progressivement utilisé les outils numériques pour s'intégrer à des réseaux de collaboration. Depuis les années 2000, ils ont développé leur image en ligne afin d'être plus facilement identifiés par des collaborateurs potentiels, en s'inscrivant dans des réseaux sociaux scientifiques tels que Research Gate, professionnels comme LinkedIn, ou génériques comme Facebook et Twitter. De plus en plus, ils déposent des vidéos sur des sites génériques. Ils mobilisent leurs « traces numériques », ils développent des stratégies de publication individuelles afin d'avoir une meilleure évaluation dans les analyses bibliométriques auxquelles ils sont soumis. Ils publient dans des journaux ouverts en ligne pour accroître leur lectorat et gagner en visibilité. Le développement du numérique et des réseaux sociaux transforme les processus de publication et de validation des résultats par les pairs, et la visibilité des travaux publiés.

De ce fait, les chercheurs s'ouvrent à de nouveaux partenaires. Les citoyens aspirent de plus en plus à devenir des acteurs à part entière de la recherche, ce qui est facilité par les outils numériques. Chercheurs, citoyens, entreprises et usagers se retrouvent dans des projets de recherche participative, sur des plateformes virtuelles ou dans des lieux physiques ancrés dans les territoires. Ces tiers-lieux (Besson, 2017) que l'on nomme aussi *open labs* (Mérindol, 2016) ou espaces ouverts d'innovation (Capdevila, 2015) regroupent notamment des living labs, des fablabs et des hackerspaces. Les chercheurs s'ouvrent à de nouveaux collectifs, répondent à de nouvelles règles et tissent ainsi de nouveaux liens avec la société, les entreprises et les usagers. Ce mouvement contribue à renouveler les relations sciences-société en instaurant des rapports de confiance entre citoyens et scientifiques grâce à une plus forte transparence des données, tout en ré-interrogeant le rôle des chercheurs (de Menthière *et al.*, 2017).

Une forte incitation à l'innovation et aux partenariats avec le privé

Si les domaines de l'agriculture, environnement, alimentation et santé animale ont historiquement développé des partenariats avec le monde professionnel, les politiques publiques les poussent à la valorisation économique de leurs résultats, et à se saisir de la révolution numérique comme d'une véritable opportunité. En 2017, Cyril Kao donnait sa vision du rôle du numérique dans le monde agricole en ces termes (Alim'Agri, 2017) :

« Comme de nombreux autres secteurs, l'agriculture et l'agroalimentaire sont entrés de plain-pied dans l'ère du numérique : les gisements de données sont immenses. Et les possibilités de les traiter tout autant ! (...) Nous avons cette opportunité : accompagner l'émergence de nouveaux écosystèmes en intégrant la recherche académique, l'enseignement supérieur, start-up, incubateurs et pôles de compétitivité ».

Ainsi, les organismes de recherche se structurent afin d'aider les chercheurs à créer leur start-up et les activités d'innovation et de partenariat avec le privé sont prises en compte dans l'évaluation des chercheurs.

De nouvelles approches qui visent à renforcer les liens entre la production et l'usage des connaissances se développent et remettent en cause le mythe d'un processus linéaire de l'innovation : l'innovation ouverte (Chesbrough, 2003) ; l'expérimentation collective entendue comme des formes de recherche-action co-opérative (Joly *et al.*, 2010), ou bien l'innovation basée sur des communautés (Gangi & Wasko, 2009).

3.1.2 Production de connaissances

Toute la chaîne de production des connaissances est affectée par le développement des outils numériques même si toutes les disciplines ne sont pas affectées de la même manière. En effet, il n'y a pas un seul type de raisonnement scientifique - une seule épistémè - qui qualifierait les sciences en général, mais des styles de raisonnement scientifique (Hacking, 2003) : raisonnement mathématique, exploration expérimentale et mesure de relations, modélisation, construction de taxonomies et classification, analyse statistique et calcul des probabilités, explication de la genèse, observations...

Dans les sciences, l'élaboration des théories peut se faire selon deux grands types de raisonnement, inductif ou déductif ; en pratique, la plupart du temps, grâce à une combinaison des deux. Dans les sciences expérimentales, les expériences permettent de valider ou d'infirmer les théories proposées, tandis que les théories permettent de planifier de nouvelles expériences. Ce qu'apporte le numérique, c'est d'abord la possibilité de faire des expériences *in silico*, notamment d'effectuer des simulations de systèmes pour lesquels il n'est pas possible de faire des expériences directement (comme la formation de galaxies par exemple). Plus récemment, certains auteurs pensent que l'Intelligence Artificielle pourrait permettre d'extraire automatiquement des principes généraux à partir de grands jeux de données ce qui pourrait conduire à un changement de paradigme scientifique. De plus, l'accès au web et la généralisation de plateformes de services sont aussi des moteurs des transformations de la production de connaissance.

Mais il faut aussi prendre en compte la diversité des formes d'insertion sociale de la connaissance. Un modèle de la *big science* basé sur des investissements financiers gouvernementaux, des laboratoires de grande dimension et de forts liens à l'industrie s'était développé dans les années 1960. À partir des années 1990, de nouvelles approches se sont intéressées à l'intégration d'acteurs concernés et partie-prenantes dans la construction des connaissances et des technologies afin de mieux relier la connaissance produite aux contextes sociaux d'application : science en mode 2 (Gibbons *et al.*, 1994) ; science post-normale (Funtowicz & Ravetz, 1993) ; co-construction de la connaissance (Rabeharisoa & Callon 2004). Les transformations en cours de la production de connaissance liées au numérique semblent parfois prolonger ces tendances, notamment en facilitant la participation des acteurs et l'intégration des savoirs d'expérience à la production de connaissances. Cependant, le caractère central des données et des capacités de traitement des données dans les dynamiques de production de connaissances semble donner un rôle croissant aux grands acteurs privés du numérique, qui n'est pas sans rappeler les promesses de la *big science* des années 1960.

Les effets de la transition numérique sur la production de connaissances

Le développement d'un raisonnement inductif et déductif dans les pratiques scientifiques

Le premier effet important de la transition numérique concerne la construction de connaissances à partir de données existantes par des raisonnements inductifs et déductifs. L'exploration et la fouille des données par des outils statistiques permettent de générer par raisonnement inductif des hypothèses qui sont ensuite testées de manière classique dans une approche déductive (Kitchin, 2014). Ce type d'approche est désormais développé dans de nombreux domaines, dont la génétique et l'écologie. Etudiant la distribution et de l'abondance des populations d'oiseaux en Amérique du Nord, Kelling *et al.*, (2009) montrent l'importance de réaliser des analyses exploratoires sur des variables prédictives en analysant des corrélations à l'intérieur de grandes bases de données. Des modèles basés sur de l'apprentissage automatique, la fouille de données (*data mining*) et des approches statistiques sont utilisés pour prédire la distribution et l'abondance. Kelling *et al.*, insistent sur le rôle de la visualisation en ligne des données et de leur traitement automatisé pour en inférer des hypothèses sur des schémas de distributions des populations d'oiseaux. L'approche orientée par les données (*data-driven*) dans laquelle domine le raisonnement par abduction² qui combine des raisonnements inductif et déductif³ se justifie en recherche sur la biodiversité du fait de la complexité des systèmes écologiques (très grande échelle spatiale et temporelle), et de la difficulté de formuler un petit nombre d'hypothèses claires et faciles à examiner. Même si l'idée d'un changement de paradigme est controversée du fait d'une coexistence traditionnelle dans un grand nombre de sciences de démarches inductives et déductives, les outils numériques participent d'une rupture dans les pratiques de recherche. Ainsi, en écologie, avant le numérique, le cheminement de l'expérimentation était le suivant : observation *in situ*, hypothèses de causalité, étude expérimentale, puis analyse des résultats

² Le raisonnement par abduction (théorisé par le philosophe Charles Sanders Peirce) désigne un raisonnement qui permet d'expliquer un phénomène ou une observation à partir de certains faits. C'est la recherche des causes, ou d'une hypothèse explicative. Ce raisonnement consiste à inférer des causes plausibles, ou une hypothèse explicative, à partir d'observations (Catellin, 2004).

³ Les fronts de science s'ouvraient auparavant sur la base d'intuition, désormais l'interprétation des données massives occupe une place centrale dans la formulation des hypothèses en permettant d'aller plus facilement vers l'expression d'énoncés plausibles de l'hypothèse à tester.

(hypothético-déductif). Désormais le numérique et l'acquisition de données massives permettent le chemin inverse, orienté par les données : analyse des bases de données et des métadonnées, hypothèses de causalité, expérience *in silico* (simulation), expérience *in vivo*, puis, observation *in situ*.

Ces changements dans la production de connaissance impliquent également de repenser les dispositifs d'observation (ce qu'il faut mesurer) et de collecte de données. Ils nécessitent d'accorder une attention particulière aux hypothèses méthodologiques qui président à la construction des données, pour éviter les biais dans les données fournies aux outils d'apprentissage automatique.

De nouvelles pratiques ouvertes à la société s'appuyant sur les réseaux sociaux numériques

Le rôle de l'Internet et des réseaux sociaux dans la production de la connaissance s'affirme à travers le développement de pratiques ouvertes : l'implication des non professionnels dans la production de connaissances, l'accès aux ressources et aux données par l'internet, la communication entre chercheurs via les réseaux sociaux. D'un côté, ces pratiques ouvertes de recherche s'inscrivent pleinement dans le prolongement des pratiques qui ont historiquement structuré l'internet dans une vision d'ouverture et de partage des connaissances. Ainsi, les informaticiens ont été les premiers à utiliser des processus d'évaluation par les pairs dans les communautés du software. On peut aussi par exemple citer Wikipedia qui s'est construit par des procédures collaboratives ouvertes de contributions et d'évaluation des contenus. D'un autre côté, ces pratiques ouvertes sont également dans le prolongement historique d'une implication des acteurs sociétaux (association de malades ; recherche-action en agriculture) dans la production de connaissances (voir sections 4.2.1 et 5.2.2).

L'accès aux ressources numériques en ligne peut faciliter le développement d'autres types de recherche et transforme les objets et les pratiques de recherche. C'est ce que l'on constate en histoire où le développement de recherches transversales a été facilité par l'internet : les recherches s'orientent vers des objets thématiques plutôt que sur le traitement d'un fond documentaire, et conduisent au développement d'approches internationales telles que l'histoire connectée ou l'histoire globale (Vinck & Natale, 2015).

Le numérique modifie aussi les pratiques de recherche en facilitant les relations entre les chercheurs, en structurant des communautés de recherche. Ainsi, les scientifiques utilisent des espaces de projet collaboratif (Wikipedia, Google Docs, *figshare*, GitHub, Overleaf), des blogs et des microblogs (Research Blogging, Twitter), des communautés en ligne (YouTube, Mendeley, CiteULike, Zotero), des sites de mise en réseau de professionnels (Facebook, Academia.edu, LinkedIn, ResearchGate) pour développer des idées et des collaborations qui aboutissent à la production de connaissance.

Dans le domaine de la génétique, un exemple récent décrit l'usage des réseaux sociaux pour l'identification génétique d'une nouvelle souche d'*E. coli* fortement pathogène (Casey *et al.*, 2011). Plutôt qu'un processus long et méticuleux d'acquisition des données par un seul laboratoire, puis d'évaluation par les pairs et de publication dans un journal, une communauté virtuelle de chercheurs en bioinformatique a interprété, en temps réel, le séquençage génétique de la souche d'*E. coli* réalisé par une firme chinoise spécialisée et mis en ligne.

Dans le domaine de l'écologie et des sciences de la biodiversité, des pratiques collaboratives permettent d'étudier les migrations des populations d'oiseau. La collecte des données s'appuie sur des observations en ligne d'amateurs, *birdwatchers*, la validation des données étant assurée par un contrôle de qualité individualisé où l'on mesure les capacités de l'observateur à fournir une description adéquate, et ensuite des extrapolations des données sont réalisées grâce à des outils de simulation pour générer les données manquantes (Kelling et al, 2009).

L'internet est un lieu d'expérimentation de pratiques collaboratives en ligne basées sur l'*open source*, d'interactions autour de plateforme de calcul et de traitement, et de dissémination des travaux. Les plateformes numériques telles que *zooniverse* ou *tela botanica*, les jeux, les partenariats entre des institutions, les hackerspaces mais aussi les évènements comme les hackatons jouent un rôle central dans l'émergence de pratiques collaboratives en ligne.

Les données massives et les intelligences artificielles : deux tendances majeures affectant la production de connaissance

La promesse technologique des données massives (big data)

Les données massives modifient les méthodes des sciences en donnant une large place à l'analyse statistique, aux méthodes mathématiques de fouilles des données basées sur l'apprentissage automatique et à la visualisation des données. Pour certains auteurs (Anderson, 2008 ; Kelling et al, 2009), les données massives incarnent une rupture épistémologique dans les pratiques scientifiques. Les données massives permettraient de passer d'une science fabriquant une connaissance des phénomènes à partir de lois universelles (permettant des prédictions universelles) à une généralisation à partir d'un très grand nombre d'exemples qui permet une prédiction même si l'on ne sait pas exactement comment ce résultat positif est obtenu. C'est l'hypothèse que formule Anderson (2008) en s'appuyant sur le succès des outils développés par Google⁴ : l'émergence des données massives signerait « la fin de la théorie », pour laisser place à une connaissance qui abandonne la prétention à l'universel et à la causalité pour se concentrer sur l'efficacité obtenue à partir d'une prédiction reposant sur la fouille de données, l'analyse statistique des corrélations et l'apprentissage automatique appliqué à de vastes corpus de données. Il s'agit d'une vision empirique de production de la connaissance qui s'appuie sur la calculabilité, sur la détection de corrélations à l'intérieur de volumes massifs de données. La théorie d'Anderson a été critiquée de multiples manières : elle naturalise les données comme si elles émanaient directement du réel alors qu'elles sont « obtenues » et résultent de cadrages conceptuels préalables. Elle oublie que des théories et des connaissances encapsulées dans ces théories sont à la base des programmes qui détectent des corrélations dans les corpus de données, que les données « ne parlent pas par elles-mêmes », qu'elles ne peuvent être interprétées en dehors de tout contexte, et que leur interprétation nécessite une expertise spécifique (i.e., des connaissances) sur le domaine étudié (Kitchin, 2014 ; Vayre, 2018).

⁴ Cet usage des données massives provient des pratiques de marketing et de publicité en ligne pour orienter les comportements des consommateurs (Vayre 2018).

L'affirmation des intelligences artificielles et un tournant dans la modélisation

Souvent reliées aux données massives, les évolutions de l'intelligence artificielle (IA) sont susceptibles de transformer fortement la production de connaissances. Le champ de l'IA s'est constitué autour de l'IA « symbolique » qui, s'appuyant sur les sciences cognitives, s'intéresse au raisonnement formel et à la logique. Dans les années 2000, une approche « connexionniste » de l'IA s'est développée, basée sur des raisonnements statistiques et mathématiques, en combinant les avancées méthodologiques de l'apprentissage automatique (*machine learning*), des réseaux de neurones et de l'apprentissage profond (*deep learning*) (Cardon *et al.*, 2018). S'appuyant sur l'accroissement des capacités de calcul, et sur l'explosion des capacités de mémoire des ordinateurs, cette approche domine les avancées récentes de l'IA pour l'analyse de données, le traitement du langage et des images. La combinaison des réseaux de neurones et de l'apprentissage profond appliquée à des données massives a permis de développer des « machines à prédire » capables « de produire des prédictions pertinentes en apprenant des données » (*ibid.*).

Le développement de l'IA connexionniste change la manière de concevoir la modélisation : plutôt que des modèles reproduisant des mécanismes réels, il s'agit de détecter des corrélations, des propriétés émergentes par des analyses statistiques et des méthodes d'apprentissage automatique⁵. Dans le domaine de l'agriculture et de l'environnement, ces approches sont aujourd'hui peu développées, mais les grands acteurs mondiaux du numérique, GAFAM (Google, Amazon, Facebook, Apple et Microsoft) et BATX (Baidu, Alibaba, Tencent et Xiaomi), investissent pour développer des IA pour l'agriculture. Pour autant, comme le souligne le rapport de Gondret *et al.*, (2019), la faible masse des données et l'hétérogénéité des situations en agriculture amènent à privilégier le développement d'approches hybrides couplant une approche par les données et des modélisations plus classiques basées sur la connaissance existante.

Dans les domaines de l'environnement, de l'agronomie, de l'alimentation, et de la santé animale, des infrastructures nouvelles en termes de capteurs, d'enregistrements et de bases de données sont développées. Elles sont nécessaires au bon fonctionnement des IA connexionnistes. La constitution de bases de données distribuées et leur partage orientent la production de la connaissance dans un grand nombre de disciplines. Ainsi, les standards définissant les données archivées deviennent des enjeux cruciaux⁶. Le stockage des données devient également vital pour la production de la connaissance. MacKenzie (2016) suggère notamment par ses observations du champ de la génétique et de la post-génétique que les modèles d'infrastructures de données pourraient évoluer du stockage et de l'archivage des données vers une logistique de flux.

Vers une captation des connaissances par le capitalisme de plateforme ?

A propos de la transformation des pratiques de la production de connaissances par le numérique, certains auteurs soulignent le rôle central des plateformes que ce soit pour l'archivage et le traitement des données ou pour l'organisation des réseaux sociaux.

⁵ Les recherches actuelles en IA portent sur les notions d'interprétabilité et de causalité, on imagine une IA en capacité d'identifier des relations de causalité entre variables en s'appuyant sur de vastes corpus de données. Une seconde tendance potentielle de l'IA concerne l'automatisation de l'analyse.

⁶Car les standards de stockage des données rendent certains types de recherche possibles et d'autres, impossibles (Bowker, 2005).

Constitués en oligopoles privés, même s'il en existe de publiques (archives ouvertes HAL par exemple), ces plateformes fournissent gratuitement des services individualisés aux chercheurs (ResearchGate, Academia, Mendeley, Google Scholar). Ainsi, elles ont acquis une centralité dans les pratiques de recherche. Ces plateformes scientifiques apparaissent comme des équivalents pour les sciences du réseau social Facebook (qui est le modèle du capitalisme de plateforme). Les GAFAM jouent désormais un rôle prépondérant dans la collecte, la gestion et le traitement des données qui deviennent centrales dans la production des connaissances, à l'intersection des relations de pouvoir, de la valeur économique et des connaissances validées (MacKenzie, 2016). Mirowski (2018) relate les travaux engagés par les grands éditeurs scientifiques pour automatiser des pans entiers de la chaîne de production de connaissance comme le *peer-reviewing*. Cet auteur voit dans les mouvements actuels autour des données, de l'automatisation de certaines tâches scientifiques et des réseaux sociaux numériques, une dynamique de captation progressive des sciences par le capitalisme de plateforme (Mirowski, 2018). Dans le même ordre d'idée, Granjon et Magis (2016) soulignent la relation étroite entre le libre accès (qui vise à mettre à disposition le savoir scientifique) et une concentration continue de l'édition scientifique. Ces phénomènes peuvent être compris comme une économie politique ayant comme horizon la suppression du travail scientifique, remplacé par des processus d'automatisation mobilisant soit des intelligences artificielles, soit des systèmes de *scoring* (évaluation rapide) par les autres membres du réseau (à la façon des métriques de Research Gate ou de bioRxiv).

3.1.3 Processus de validation des connaissances

La publication dans des revues scientifiques est le mode traditionnel et reconnu de validation et de diffusion des connaissances scientifiques. Le numérique a révolutionné la publication scientifique, tant du point de vue quantitatif que qualitatif. Il a participé à l'envolée du nombre d'articles publiés dans le monde : d'un peu plus de 800 000 articles en 2000 à près de 1 800 000 en 2015 (OST, 2018). Il a été déterminant dans la diversification des modes de supports avec le passage aux documents multimédias, incluant des données brutes et des métadonnées, facilitant l'évaluation et permettant théoriquement la reproduction des expériences. Il a complètement transformé les usages, en permettant une diffusion beaucoup plus large et plus rapide des résultats scientifiques. Avec le développement d'approches alternatives telles que les *preprints* et la science ouverte, il a participé à la remise en cause du système classique d'évaluation par les pairs dans des revues à comité de lecture. La part de l'édition numérique n'a cessé de croître et atteignait 60% du chiffre d'affaire de l'édition scientifique mondiale en 2015 (DIST CNRS, 2015). Des revues exclusivement électroniques ont vu le jour. De nouvelles formes de publications liées aux données sont apparues dans les années 2000, telles que les *data papers*, les revues systématiques de la littérature et les méta-analyses. Les grands éditeurs privés historiques ont fortement investi dans le numérique, ce qui leur a permis de renforcer leur position. En situation d'oligopole, ils fixent les prix et font d'énormes profits.

Le numérique favorise la remise en cause des modes d'édition et de validation traditionnels

La communauté scientifique a fortement critiqué la mainmise du système d'édition par les grands éditeurs. Cela a conduit au développement du libre accès (Couture, 2014) et à la structuration institutionnelle des revendications, comme le controversé Plan S en Europe

(Else, 2018) ou le désabonnement de certaines universités à l'éditeur scientifique Elsevier (Gaind, 2019). Cette tendance est maintenant qualifiée de mouvement pour le libre accès (Brainard, 2019).

Vers une séparation de l'évaluation des articles et de la publication ?

Le numérique rend possible la séparation des activités d'évaluation et de publication, les revues scientifiques n'ayant plus l'exclusivité d'aucune de ces deux activités. L'évaluation classique par les pairs est elle-aussi remise en cause. Elle est accusée d'entraîner un déséquilibre lié à l'anonymat (les relecteurs sont anonymes, mais pas les auteurs) et la fonction de relecteur est chronophage et mal reconnue. Des alternatives sont proposées et des expériences menées depuis le début des années 2000 : évaluation en double ou triple aveugle, évaluation par les pairs ouverte (Sharma, 2017), *Peer Community In* (PCI) ; elles sont facilitées par les outils numériques. De plus comme on l'a vu dans la partie précédente, de grands éditeurs étudient des processus d'automatisation d'évaluation par les pairs utilisant des intelligences artificielles qui permettraient de se passer du *relecteur* humain. Enfin, des espaces de dialogue entre scientifiques, voire de dénonciation de fraude, se sont ouverts sur les réseaux sociaux, tels que les sites *PubPeer* ou *Retraction Watch*.

Les *preprints*, plébiscités par les communautés de mathématiciens et physiciens depuis les années 1990, sont à présent considérés par les biologistes comme une alternative intéressante à la publication traditionnelle. En effet, ils permettent de faire connaître ses résultats bien plus rapidement qu'avec le processus d'évaluation par les pairs traditionnel (Bert, 2016). Les *preprints* alimentent le mouvement plus large de la science ouverte,. La science ouverte, progressivement institutionnalisée depuis les années 1990, combine plusieurs aspects : l'accès aux publications scientifiques (le libre accès) ; l'accès aux données (les bases de données ouvertes) ; la participation citoyenne à la production scientifique ; des formes de productions scientifiques alternatives à l'article scientifique ; la reconnaissance des contributions dans la production scientifique (Reas, 2018). Elle vise un meilleur accès à l'information dans un contexte de numérisation croissante. La donnée ouverte concerne l'activité de recherche à toutes ses étapes. La collecte, la gestion et la publication des données sont envisagées sous l'angle de la transparence, du partage et de la réutilisation par la communauté scientifique et font l'objet de validation à toutes les étapes (Pampel & Dallmeier-Tiessen, 2014).

En parallèle, des mouvements de critique de l'usage des outils numériques pour la validation des connaissances scientifiques se développent. Ils visent tout particulièrement les *altmetrics* et leur utilisation à des fins d'évaluation des chercheurs, et la fragilisation de l'information numérique, victime de l'obsolescence des équipements informatiques et des logiciels et de la durée de vie limitée des dispositifs de stockage numérique.

3.1.4 Métiers et articulation des compétences disciplinaires et numériques

L'avènement du numérique et l'avalanche de données ont bouleversé certaines disciplines en permettant des avancées importantes. L'un des changements majeurs a trait aux multiples réorganisations que produit la multiplication de données numériques, ce qui conduit à valoriser de nouvelles qualifications, en premier lieu les compétences pour traiter des

données numériques (les sciences de la donnée). Les sciences de la donnée, et le numérique dans son ensemble, ont ainsi modifié les approches disciplinaires. L'une des questions abordées dans cette partie concerne les rôles respectifs des chercheurs en sciences de la donnée, des spécialistes disciplinaires et de la science de la donnée.

Selon Broudoux (2017), « une discipline repose sur un système structuré de connaissances mettant en œuvre des épistémologies, des concepts, des méthodes, des terrains d'expérimentation et d'observation qui lui sont propres. Elle possède une identité académique constituée par des instances institutionnelles qui en délimitent son périmètre. Le champ est constitué par les espaces sur lesquels s'exerce l'action scientifique (calculs, expérimentations, terrains d'observations) à partir desquels se construisent les disciplines. Mais [il] est aussi 'social' ».

Ainsi, les spécialistes disciplinaires présentent donc des profils très hétérogènes, mobilisant des styles de pensée différents et des organisations sociales spécifiques.

La dynamique des disciplines

Les spécialistes disciplinaires ont un vocabulaire, des concepts ou bien encore des méthodes, des revues permettant de construire des connaissances qui leur sont propres. Cependant, cet ensemble spécifique, une discipline, évolue au cours du temps. Les disciplines se créent, disparaissent, fusionnent, se segmentent.

Comment et en quoi le numérique modifie-t-il les dynamiques disciplinaires ? On pourrait formuler ici trois types d'hypothèses : (i) le numérique favoriserait le développement des sciences fortement instrumentées, qui génèrent et manipulent de grandes quantités de données quantitatives ; (ii) dans les sciences où dominent des données qualitatives, le numérique donnerait une place centrale au web comme ressource (sociologie, histoire), et produirait un éloignement des terrains traditionnels (observation directe, archives matérielles..) ; (iii) le numérique entraînerait une réduction du nombre de disciplines, ou un processus de fusion qui favoriserait la domination de disciplines qui se prêtent le mieux au développement de bases de données.

L'exemple de l'écologie face au numérique : des reconfigurations disciplinaires et interdisciplinaires

L'affirmation de l'écologie en tant que discipline scientifique académique s'est faite suite à une lutte particulière tout au long du XX^{ème} siècle, du fait notamment de sa nature de science de terrain et de l'environnement (Kohler 2002). L'écologie écosystémique se focalise sur la quantification des flux de matière et d'énergie dans les unités fonctionnelles susnommées. En 1984, les frères Legendre dans leur ouvrage *Écologie numérique* ont posé les bases d'une discipline basée sur la traduction des observations en équations et l'analyse statistique des relations observées. Ce pan de l'écologie, né il y a un peu plus de 30 ans, connaît un véritable essor à l'heure actuelle. En effet, l'écologie numérique se construit au carrefour des statistiques, des mathématiques et de l'écologie ; la modélisation en est un des résultats. La modélisation permet de simplifier la description des processus, de quantifier et comprendre le rôle de chacun d'eux, de tester des hypothèses, de généraliser des résultats, de faire des analogies ou bien encore de déterminer des paramètres non mesurables ou non mesurés *in situ*. L'évolution des moyens, des puissances et des infrastructures de calculs associée à

l'accroissement des données acquises ont permis le développement de cette approche (Jørgensen, 1992). Il apparaît clairement qu'il existe un avant et un après l'ère du numérique pour l'écologie : d'une science de l'observation de l'environnement, l'écologie se tourne désormais vers l'analyse des données numériques.

D'autres domaines comme l'étude de la biodiversité ont subi des changements très brusques voire des ruptures au cours des deux dernières décennies. Avec les avancées méthodologiques de la génomique réalisées depuis les années 2000, la biodiversité est maintenant évaluée sur la base de la génétique et les études actuelles de diversité sont en grande partie des études de diversité génétique des populations et des communautés (Rees et al., 2014). De plus, les avancées de la biologie moléculaire ont eu pour conséquence de repenser la définition même d'espèce (Konstantinidis et al., 2006) et donc de diversité spécifique, unité de base de l'étude de la biodiversité.

Les quantités de données acquises sur la biodiversité notamment du monde microbien ont nécessité des approches différentes d'analyses de résultats. Les chercheurs, spécialistes disciplinaires, travaillant sur de telles thématiques ont dû s'adapter et acquérir de nouvelles compétences en statistique et en mathématique afin de pouvoir analyser des jeux de données très importants. Par ailleurs, l'acquisition des séquences génétiques, accompagnées de métadonnées environnementales, a favorisé l'émergence de l'interdisciplinarité au cœur de la démarche des écologues.

Les chercheurs en sciences de la donnée : les spécialistes disciplinaires de demain ?

L'ère du numérique, débutée à la fin des années 1990 a apporté de nombreuses opportunités méthodologiques permettant l'accès à une multitude de questions scientifiques. Elle constitue un levier de progrès et d'innovation dans de nombreux domaines du vivant et a également créé ses propres métiers. Les chercheurs en sciences de la donnée en sont le parfait exemple. Métier jugé « *the sexiest job of the 21st century* » (Davenport & Pati, 2012), il s'insère dans un domaine d'expertise beaucoup plus large que les sciences de la donnée. Néanmoins, la question se pose : les sciences de la donnée représentent-elle une discipline autonome ou plutôt une compétence utile dans de nombreuses disciplines ?

Selon certains critères de la définition exposée par Broudoux (2017) les sciences de la donnée constituent une discipline. En effet, elles possèdent leurs méthodes propres (modèles statistiques appliqués au traitement d'une très grande masse de données), ainsi que des terrains d'expérimentation qui leur sont propres : les bases de données. Cependant il n'y a pas à proprement parler de concepts propres aux sciences de la donnée. Un scientifique des données se situe en fin de compte au centre d'un polyèdre de compétences interconnectées qui agrège des connaissances statistiques, informatiques, mathématiques et des connaissances spécialisées correspondant au domaine étudié. Aussi certains chercheurs considèrent que cette « nouvelle science » n'est pas une discipline autonome, mais qu'elle est un champ d'interdisciplinarité où collaborent statisticiens, mathématiciens (optimisation) et informaticiens (bases de données, architectures...) (Besse & Laurent, 2016).

Cependant, une discipline est aussi une « branche de la connaissance pouvant donner matière à un enseignement ». De ce point de vue, les sciences de la donnée sont devenues au fil du temps une matière enseignée au même titre que la biologie. De nombreuses universités et écoles proposent désormais des filières en sciences de la donnée que ce soit

en formation initiale ou en formation continue (INSA de Toulouse, Université Paris Saclay⁷ pour ne citer qu'elles). En ce qui concerne les domaines analysés de cette prospective, plusieurs écoles d'agronomie françaises proposent une spécialisation en sciences de la donnée lors de la troisième année de formation.

3.1.5 Hypothèses d'évolution à 2040 des pratiques de recherche

A partir des analyses précédentes, quatre hypothèses d'évolution des pratiques de recherche ont été bâties.

Le capitalisme numérique de la connaissance

En 2040, les grands groupes de l'industrie numérique ont capté les données et développé des capacités de modélisation. Il y a eu une automatisation de toute la chaîne de production des connaissances et une captation de toute la chaîne par les entreprises privées du numérique : données, traitements, connaissances, modèles, publication. Ces entreprises produisent des connaissances pour générer des services marchands dans une logique de capitalisme de plateforme. Les processus de validation et de diffusion des connaissances sont réalisés sur des plateformes en ligne au sein de communautés de pairs étendues au-delà de la communauté scientifique, s'appuyant sur des IA. On assiste à une privatisation de la recherche : d'une part l'usage des IA et des données massives a créé une désintermédiation du travail scientifique aboutissant à la suppression de certaines pratiques. L'évaluation par les pairs est par exemple réalisée par une IA spécifique et privée. D'autre part, les activités publiques de recherche liées à des activités marchandes ont été internalisées par les grands groupes du numérique. Il résulte de ces transformations une diminution de la capacité d'intervention sur les milieux complexes, et peu de production de connaissances dans les domaines non marchands. Aussi, les entreprises du numérique externalisent les recherches sur des sujets émergents vers la recherche publique, qui est désormais un prestataire de service pour le privé.

La connaissance pour les biens communs

En 2040, l'usage de l'IA dans la recherche a entraîné une redistribution des rôles et des thématiques de recherche entre le public et le privé. Tandis que la recherche privée valorise la production de connaissances à des fins marchandes, la recherche publique se concentre sur la production de connaissances pour les biens communs en développant des liens avec des acteurs de la société civile. Il s'agit notamment d'ouvrir avec les citoyens des espaces des possibles en explorant les sorties des verrouillages sociotechniques des systèmes marchands. Il y a une auto-organisation de la recherche pour la validation et la diffusion de la connaissance et un élargissement des processus de validation aux acteurs de la société pour traiter la question des biens communs. Les liens entre scientifiques et société civile se développent pour la collecte, l'analyse de données, et plus en amont la construction des problématiques de recherche. La production de connaissances est ancrée dans les territoires et les problématiques de recherche sont reliées à des contextes d'application où l'enjeu est

⁷ <https://www.universite-paris-saclay.fr/fr/bdbc/data-sciences-cartographie-des-45-formations>

le traitement de biens communs (eau, biodiversité, paysage, carbone). Des outils numériques sont mobilisés pour le traitement des objets complexes. Dans ce cadre, le développement de biens communs informationnels permet de faciliter la circulation des données sur les biens communs et la production de connaissances.

Les chercheurs autonomes et outillés par IA

En 2040, l'IA a donné une grande autonomie aux chercheurs et a conduit au développement de chercheurs qui reconfigurent constamment leurs collectifs de recherche en fonction des projets qu'ils développent. Les chercheurs décident de s'intéresser à une question de recherche et s'auto-organisent pour y répondre en mobilisant des collectifs de recherche grâce aux outils de sociabilité numérique. Les collectifs de chercheurs se reconfigurent au gré des projets et ont peu de liens avec leur structure d'origine. Les chercheurs utilisent et développent de puissants outils d'IA combinant des approches connexionniste et symbolique : une large part de l'analyse a été automatisée, et l'IA est désormais capable d'établir des relations de causalité au sein de corpus massifs de données. Aussi, les chercheurs ont dans leur grande majorité acquis des compétences en sciences de la donnée. C'est la grande variété de données massives qui permet de valider les résultats. Cependant, il y a toujours des spécialistes disciplinaires dont les compétences sont mobilisées en fonction des questions traitées pour contrôler les résultats de l'IA et les interpréter. La validation de la connaissance s'effectue de manière continue grâce à des outils en ligne qui mobilisent des techniques d'évaluation par scoring.

Une production de connaissances ancrée dans les territoires

C'est un scénario qui prolonge les tendances actuelles et combine des évolutions hétérogènes. La division du travail scientifique (recherche/édition/innovation) est conservée.

Les territoires qui constituent les contextes d'application des connaissances produites sont structurants pour la formulation des problématiques de recherche. Les dispositifs de recherche-innovation s'ancrent dans les territoires, afin d'être en lien avec les problématiques des acteurs partie-prenante des territoires, ce qui renforce la collecte des données locales. Cela ne bouleverse pas l'organisation et le fonctionnement de la recherche. Les grands éditeurs extra-territoriaux conservent leur rôle dans la diffusion des connaissances, avec un processus d'évaluation basé sur les chercheurs. Un mode de production de la connaissance abductif, s'appuyant sur la fouille de données, se généralise dans un grand nombre de disciplines, tout en conservant des procédures classiques de mise à l'épreuve et de validation des hypothèses de recherche propres à chaque discipline. Des assembleurs interdisciplinaires émergent : ils s'appuient sur les compétences de spécialistes disciplinaires et sur l'exploitation des bases de données par des outils numériques.

3.2. Pratiques d'enseignement et de formation

Geneviève Aubin-Houzelstein, Caroline Martin, Alain Bénard, François Bouchet, Sébastien Perrot

La transition numérique peut transformer en profondeur 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. Par qui, humains ou algorithmes, et comment, les contenus et les parcours de formation seront décidés ? Quels équilibres seront trouvés entre les thématiques classiques et d'autres plus opérationnelles ou interdisciplinaires ? Le foisonnement des nouveaux outils numériques favorisera-t-il l'accès à l'enseignement et à la formation pour tous et à la carte, ou au contraire, renforcera-t-il les inégalités ? Quels nouveaux rôles les enseignants et formateurs joueront-ils dans des parcours numériques individualisés ou dans des communautés d'apprentissage totalement ou partiellement digitalisées ? Quelle valeur sera accordée aux diplômes et certifications, s'ils existent encore ? Vu les coûts de développement des formations numériques et les enjeux économiques, quelle place l'enseignement supérieur et la formation publics garderont dans le marché de la formation face aux grands opérateurs privés ?

3.2.1 Contenu des formations

Au cours de l'histoire de l'éducation et de la pédagogie, les contenus pédagogiques et les pratiques d'enseignement ont fortement évolué. C'est le cas par exemple de l'enseignement de l'agronomie (Doré, 2009).

L'enseignement agronomique fortement imprégné des pratiques de terrain

Dans les disciplines universitaires comme les sciences agronomiques, l'évolution des contenus pédagogiques est marquée par deux tendances principales : le contexte économique et politique des structures d'enseignement ; et les modalités de production de la connaissance.

Les contenus évoluent en fonction du contexte politique, social et économique. La nécessité d'intégrer une dimension économique dans les enseignements se concrétise dans les années 1980. Faire correspondre la formation des futurs travailleurs avec des compétences exploitables et les diplômes au marché du travail devient une demande sociale prégnante. La conséquence sur les enseignements est notable avec une plus grande intégration de matières et de processus propres au monde de l'entreprise et de son organisation dans l'enseignement des disciplines (ex : gestion de projet).

Dans le domaine de l'agronomie, l'enseignement était déjà très marqué par l'apprentissage de la discipline sur le terrain. Dans les années 1970, dans le cursus d'ingénieur agronome, l'agronomie occupait une place importante en première année. Il s'agissait d'initier les étudiants à la compréhension des fondements de la discipline et au maniement de certains outils. Mais l'évolution progressive de la structure des premiers emplois occupés par les ingénieurs diplômés a amené à une transformation progressive des objectifs de formation.

Ainsi, à la fin des années 1970, une part encore importante des étudiants issus de la spécialisation de troisième année « Sciences et techniques des productions végétales » trouvait un emploi dans les secteurs de la recherche et de l'enseignement et dans des métiers directement en rapport avec la production végétale ou le conseil. À la fin des années 1980, la moitié des étudiants issus de la même spécialité se plaçaient dans l'industrie, le commerce et les services. La co-évolution des enseignements et des métiers s'est traduite par des modifications profondes des enseignements d'agronomie. Les stages réalisés par les étudiants se sont largement diversifiés : l'apprentissage par la recherche (stage en laboratoire) a été complété par l'expérience dans d'autres milieux (conseil en bureau d'étude, ingénieur qualité, etc.), avec un retour très positif vers le corps enseignant, identifiant mieux à partir de ces expériences la diversité des situations professionnelles dans lesquelles l'agronomie était mobilisée, et les enseignements à construire pour y préparer (Robin *et al.*, 2007).

Comment apprendre au XXI^{ème} siècle ?

De façon générale, la tendance des contenus de formation semble s'orienter vers la mise en place de procédures pédagogiques adaptées à la diversité des individus au sein même d'un enseignement collectif de masse. Déjà dans les années 1970, des personnalités des sciences de l'éducation parlaient de « notion de pédagogie différentielle » (Vial, 1975 ; 1978). Cette tendance s'est accentuée à partir des années 1990 au moment où les limites du système éducatif (à la fois secondaire avec le collège unique et universitaire) se sont révélées. De plus, avec le déploiement du réseau internet et le développement d'outils numériques au potentiel encore incertain mais fort en termes d'apprentissage, l'évolution de ce qu'il faut apprendre au XXI^{ème} siècle est encore largement à définir tant le système éducatif actuel est empreint d'inertie (Jutand & Dartiguepeyrou, 2013). Néanmoins, on identifie des changements profonds qui émergent dans le monde pédagogique. Ces changements sont souvent autant disruptifs qu'ils sont ancrés dans le mode de vie des nouvelles générations d'étudiants. Ces nouvelles méthodes sont : l'échec productif, le *design thinking*, l'analyse formative, apprendre par les médias sociaux, la reformulation, apprendre à travers des jeux vidéo, apprendre pour l'avenir, le *translanguaging*, apprendre de la foule (*learning from the crowd*), la *blockchain for learning* (Sharples *et al.*, 2016). L'apprentissage par la simulation s'est, par exemple, développé dans les études de médecine et vétérinaires, avec ou sans recours au numérique.

Toutes ces innovations sont caractérisées par une prise en compte de l'individu apprenant, de son vécu et de ses connaissances acquises, il est au centre d'un dispositif d'apprentissage horizontal. Avec l'utilisation des technologies numériques, ses connaissances s'inscrivent également dans une démarche dans laquelle la formation connaît l'apprenant grâce à l'analyse de son profil, ses motivations à se former, son niveau initial et celui où il veut arriver.

Une autre tendance concerne l'enseignement de techniques pour être plus efficace dans son apprentissage. Cet enseignement part du principe que les étudiants formés aujourd'hui pourront de moins en moins s'appuyer uniquement sur leur formation initiale : ils devront se former tout au long de la vie, ce que permettent de plus en plus les plateformes numériques d'apprentissage. Il s'agit de permettre l'acquisition de compétences transversales, souvent identifiées sous le terme de *21st century skills*. Parmi ces compétences, le rôle de la pensée critique, notamment dans les dynamiques d'apprentissage est de plus en plus mise en avant

(Zimmerman & Schunk, 2001). Le numérique peut apporter une aide pour le passage d'un apprentissage régulé par un tiers (y compris sous forme d'un agent contrôlé par une intelligence artificielle (Azevedo *et al.*, 2013)) vers un vrai apprentissage autorégulé (Hadwin *et al.*, 2011).

3.2.2 Outils d'enseignement et de formation

L'évolution des supports

Le numérique et sa démocratisation, avec l'arrivée des ordinateurs individuels, permettent à tout un chacun la fabrication de nouveaux supports qui gagnent en interactivité et en animation. Par exemple, l'arrivée du vidéoprojecteur a permis l'utilisation de supports animés. Le tableau interactif et le vidéoprojecteur rendent l'enseignement dynamique et permettent la fabrication de nouveaux contenus directement pendant l'enseignement. Le support numérique envahit l'enseignement, ce qui remet en cause le rôle de l'enseignant :

« Il ne faudrait pas que le numérique remplace l'enseignant ou lui dicte un enseignement. Il faut au contraire que cela lui permette de gagner en autonomie et en inventivité pédagogique » (Borne, 2004).

Alors que Bruno Devauchelle posait la question en 2009 « Faut-il numériser les manuels ? » (Devauchelle, 2009), la plupart des lycées ont aujourd'hui planifié l'usage du manuel numérique en partenariat avec les Régions. Le manuel numérique s'avère encore souvent une simple numérisation du support papier, ne bénéficiant alors pas pleinement des possibilités d'interaction qu'offre cette technologie ; la démocratisation de l'usage ouvre un marché concurrentiel qui saura fournir des supports réfléchis nativement pour le numérique et toute l'interactivité qu'il promet. Les universités numériques thématiques (UNT) ont notamment vocation à encourager le partage des ressources éducatives entre universités.

L'enseignant s'appuie donc sur des supports de plus en plus informatisés mais l'étudiant lui-même délaisse son cahier de prise de notes pour utiliser son ordinateur portable, mobilisant un logiciel de cartographie mentale, ou bien encore son smartphone pour prendre une photo du schéma projeté ou encore enregistrant l'explication du formateur.

Notons que des méthodes comme la pédagogie inversée s'appuient pleinement sur les supports numériques et que les simulateurs ou la réalité augmentée sont parfois mobilisés à des fins d'enseignement. L'interactivité dans les enseignements de type travaux dirigés en présentiel est parfois facilitée par l'utilisation de boîtiers de vote (ou d'applications téléphone utilisées par les étudiants), qui permettent à l'enseignant d'adapter son rythme en fonction du niveau de compréhension mesuré quasiment en temps réel.

De l'amphithéâtre à l'enseignement massif en ligne

Les évolutions des technologies numériques induisent de nouveaux usages. L'arrivée de l'ordinateur personnel a libéré la fabrication des contenus tandis que l'internet a été le vecteur pour les partager. La diversité des supports et leur richesse (multimédia, interactivité) peuvent s'appuyer sur des technologies de communication ou transmission toujours en pleine évolution depuis l'arrivée de l'ADSL à la fin du siècle dernier jusqu'à la 4G en solution mobile plus récemment. Le réseau permet non seulement le partage des contenus mais depuis quelque temps le partage de la classe elle-même avec la notion de classe virtuelle

ou de vidéo cours qui offre aux élèves des places en classe alors que les amphithéâtres atteignent leur capacité maximale. L'étudiant gagne également en souplesse puisqu'il peut visionner cette retransmission du cours au moment qu'il choisit et sans déplacement. Ces pratiques sont en voie de généralisation dans certaines universités (par exemple en Australie) où les distances sont un facteur limitant à la présence des étudiants aux cours en amphithéâtre.

L'ouverture de l'enseignement et des formations ainsi que les solutions permettant sa mise en œuvre, apparaissent dès le début du millénaire, l'engagement de la France étant plus récent (2013) (Institut Montaigne, 2017).

Les plateformes d'enseignement définissent un nouveau paysage et la solution libre MOODLE apparue en 2002 compte désormais 100 000 sites avec plus de 120 millions d'utilisateurs dans plus de 100 langues. Ces outils mettent en œuvre un ensemble de fonctionnalités mêlant vidéo, accès à des ressources complémentaires (calcul, applications, exercices interactifs, forum d'échange...) et mécanismes d'évaluation (autocorrection – correction par les pairs). Après la simple numérisation des contenus, nous assistons à une transformation qui propose un cours repensé avec les possibilités du numérique, certains l'associant à « l'innovation pédagogique » (Mohib, 2010).

Les plateformes représentent un moyen simple et transparent de collecte d'informations sur les étudiants pour leur offrir des solutions adaptées voire personnalisées ou encore alimenter de nouveaux services. Nous sommes entrés dans l'ère de l'analyse de l'apprentissage (*Learning Analytics*), permettant 1) aux enseignants de mieux suivre le travail hors classe des étudiants via un ensemble d'indicateurs regroupés dans un tableau de bord (Schwendimann *et al.*, 2016) et 2) aux étudiants eux-mêmes de mieux détecter si le travail qu'ils réalisent correspond aux attentes, à leurs propres objectifs et/ou à ce que font leurs camarades. Les tableaux de bord étudiants sont ainsi un moyen commun d'aide à l'autorégulation des apprentissages (Bodily & Verbert, 2017).

L'enseignement du numérique et l'environnement numérique de l'enseignement

La place de l'enseignement du numérique dans les cursus évolue peu à peu avec des politiques successives qui ont instauré les B2I et C2I (Brevet ou certificat Informatique / Internet) au début du millénaire puis Pix qui évalue séparément des compétences situées dans le référentiel européen DIGCOMP. Les cursus d'enseignement supérieur comportent de plus en plus fréquemment des cours sur le numérique. Le développement informatique, l'algorithmie et la gestion de données s'invitent désormais dans de nombreux cursus en dehors des filières informatiques. En complément de la formation des apprenants ou des enseignants, soulignons la prise de conscience récente de l'importance du numérique dans l'enseignement. La Stratégie Nationale de l'Enseignement Supérieur (StraNES) commanditée en 2013 se voit ainsi complétée par le « référentiel de transformation numérique de l'Enseignement supérieur ». Le bon usage des outils numériques nécessite lui-même une formation qu'il est important de bien prendre en compte, faute de quoi leur usage pourrait accroître les inégalités entre apprenants.

L'environnement de l'étudiant et des enseignants s'appuie lui-aussi sur un outillage numérique nouveau qui tend à offrir une solution numérique globale avec des services d'accès aux enseignements numériques, aux ressources de formation mais aussi à divers outils de communication ou encore aux services administratifs en ligne. On parle parfois de

campus numérique ou bien encore d'Espace Numérique de Travail (ENT) (MESRI, 2013). La gestion de la scolarité elle-même est progressivement numérisée.

Outils d'enseignement et formation : quelles évolutions ?

S'il est indéniable que l'outil d'enseignement se veut de plus en plus numérique, on peut s'interroger sur l'évolution de la dématérialisation. Va-t-on vers une plateformes quasi-totale et un usage totalement ouvert des ressources pédagogiques qui remettraient en question l'organisation actuelle par exemple en aboutissant à la suppression des lieux d'enseignement ? Au contraire, le numérique va-t-il venir en soutien d'enseignements en présentiel pour de petits groupes en forte interaction ? Quels acteurs mettront en œuvre les outils numériques d'enseignement de demain qui nécessitent des investissements lourds et une mutualisation forte ? L'État mobilisera-t-il les moyens nécessaires (compétences, finances et infrastructures) pour offrir de grands outils de manière égalitaire au plus grand nombre ou bien laissera-t-il le marché décider de tout ?

3.2.3 Accès à la formation

Une apparente amélioration

De nombreux indicateurs sont à la hausse attestant d'une meilleure mixité, d'une augmentation des étudiants qui accèdent à l'enseignement supérieur et d'une forte ouverture aux étudiants étrangers, notamment européens.

Il est indéniable que la grande tendance depuis un siècle a été un accès plus large à l'enseignement supérieur pour des populations traditionnellement en dehors. Cette augmentation bénéficie à tous et engendre une évolution de l'effectif qui accède à l'enseignement supérieur qui a été multiplié par 8 entre 1960 et 2010 (Comité pour la StraNES, 2014). La France reste une terre d'accueil et bien que rétrogradée à la quatrième place derrière l'Australie, elle accueille environ 300 000 étudiants étrangers chaque année.

Globalement, nous avons assisté à une progression sociale du niveau d'étude, et l'engagement fort de l'État dans l'organisation et le financement maintient un accès relativement équitable à l'enseignement supérieur avec notamment une part financière incombant aux ménages qui reste modérée à ce jour (DEPP, 2018).

Des inégalités qui persistent

L'état de l'école 2018 (DEPP, 2018) montre cependant que les filières les plus sélectives restent majoritairement plus accessibles aux étudiants dont l'origine sociale est aisée. Il en est de même pour la mixité : le pourcentage de jeunes femmes accédant au supérieur est élevé alors qu'il chute pour l'accès aux grandes écoles ou au troisième cycle universitaire.

Le bon classement de la France au rang des pays d'accueil pourrait aussi être mis à mal avec l'augmentation récente des frais d'inscription pour les étrangers. De plus la dépense de l'État pour l'éducation marque un ralentissement alors même qu'une part d'étudiants grandissante se dirige vers l'enseignement supérieur privé (MENESR, 2017).

Les fortes augmentations récentes des frais de scolarité dans le privé mais aussi dans le public risquent de creuser les inégalités. L'ensemble du territoire n'est pas couvert de manière totalement égalitaire et les chances d'obtenir son baccalauréat pour un élève de sixième varie de 58 à 82 % selon la localisation géographique. Enfin, du côté de la formation continue, le personnel des grandes entreprises reste plus favorisé pour l'accès aux formations.

Accès à la formation : quelles évolutions à venir ?

Malgré une démocratisation de l'accès à l'enseignement supérieur, des inégalités persistent et pourraient s'accroître au regard du financement nécessaire, de l'encadrement social et familial de l'étudiant ou de son territoire d'origine (national ou international). Le numérique et la vitesse d'évolution des technologies peuvent mener à une exclusion de certaines catégories de populations étudiantes des filières menant à des emplois de haute qualification. Ainsi, pour certains experts, le développement de la formation à distance via des outils numériques pourrait amplifier la fracture numérique existante.

A l'inverse, pour d'autres experts, le numérique et l'ouverture de l'enseignement pourraient favoriser une plus grande équité et appuyer un enseignement accessible à tous, géographiquement et financièrement, sous réserve d'un accompagnement à l'usage des moyens mis en œuvre (voir section 3.6.2).

3.2.4 Modalités de formation et de certification

L'apprentissage, en termes d'acteurs impliqués et de leurs rôles, des formes, des contenus et des outils associés, ainsi que son évaluation et la reconnaissance des acquis, est en pleine évolution.

Par le passé, les modalités de formations initiale et continue étaient caractérisées par le présentiel avec d'un côté des apprenants, et de l'autre, un formateur ou enseignant. Aujourd'hui, le présentiel recule en France, même s'il se maintient davantage que dans d'autres pays d'Europe (Segond, 2015). L'utilisation croissante de l'apprentissage en ligne (*e-learning*) ou apprentissage à distance caractérise la tendance actuelle (Galiano, 2017). Mais on assiste surtout à une hybridation entre apprentissage en présentiel et à distance ainsi qu'une hybridation entre dispositifs de formation en milieu professionnel et dans des lieux dédiés à l'enseignement. Cette évolution est portée en partie par le souhait de rapprocher les dispositifs de formation du contexte professionnel dans lequel les apprenants sont appelés à évoluer, et elle est facilitée par les nouveaux outils numériques.

Les outils numériques ne permettent pas seulement l'apprentissage en ligne, ils apportent aussi un large éventail de modalités numériques pour la formation telles que vidéos, classes virtuelles, modules numériques de formation, blogs, forums, communautés en ligne, applis mobiles. On parle alors de *digital learning*. L'accès à du contenu depuis tout appareil est devenu une attente incontournable. L'évolution rapide des appareils et des navigateurs fait émerger des enjeux à la fois techniques et pédagogiques. La vidéo – média dominant sur internet – offre un large éventail de ressources pédagogiques en même temps que le défi d'assurer une production de qualité et le juste degré de pédagogie et d'engagement garantissant l'apprentissage. Les réalités virtuelles et augmentées n'en sont qu'aux prémices de leurs applications pour l'apprentissage. Elles ouvrent la voie à des formats pédagogiques

immersifs et sont des accélérateurs d'apprentissage. Une autre évolution associée au développement du numérique concerne la « gamification » ou techniques de jeu favorisant l'émotion, le plaisir et ainsi l'apprentissage. Le numérique permet également de générer et d'utiliser des données d'apprentissage. L'augmentation du volume associé à ces données commence à rendre possible l'utilisation de techniques d'intelligence artificielle numériques, par exemple pour prédire le décrochage d'apprenants dans des MOOCs (Halawa et al., 2014).

Dans le domaine de la pédagogie, la formation continue est considérée comme un creuset d'innovation. Elle implique des acteurs en prise directe avec les évolutions sociales, économiques et professionnelles, et elle est directement influencée par l'évolution vers des types de management plus participatifs et autocontrôlés, et par l'évolution des rapports entre offre et demande tendant à un pilotage plus fort de la production par la demande.

Rôles des apprenants, enseignants et formateurs

Parmi les modalités qui définissent les rôles des uns et des autres, on distingue l'enseignant en salle, le tutorat ou accompagnement individuel, le compagnonnage et le coaching, l'apprentissage en ligne, la formation à distance, et le recours à l'intelligence artificielle (MTES, 2008).

Aujourd'hui, l'enseignant en salle est confronté à un public ayant accès en temps réel à des connaissances par internet. Il voit son rôle évoluer vers d'autres fonctions que la transmission pure et simple d'informations et de connaissances.

Dans l'accompagnement individuel, le tuteur guide, conseille, et met en relation un individu et une situation professionnelle donnée. Il élabore avec l'apprenant son projet personnel et son parcours individuel sur la base d'un co-diagnostic des prérequis et des besoins. Il a une fonction de socialisation et d'insertion où il transmet le langage technique, des savoir-être, des comportements, des attitudes et des postures professionnelles. Il aide l'apprenant à évaluer sa pratique, sa progression, sa capacité à mobiliser les outils du savoir et son intégration.

Le compagnonnage est une modalité de formation en situation professionnelle où le compagnon fait partager des savoirs et des savoir-faire avec un nouvel arrivant sur un mode pédagogique démonstratif. Le coach est différent, c'est un accompagnateur qui a pour objectif l'adaptation des comportements de son client aux situations professionnelles considérées comme problématiques. Il cherche à développer l'autonomie et à faciliter le développement personnel plutôt que la reproduction de modèle.

L'intelligence artificielle peut remplir de nombreuses fonctions pédagogiques auparavant accomplies par l'enseignant, ou bien peut accompagner l'enseignant pour créer un environnement plus adapté à l'apprentissage (Bouchet, 2018).

L'émergence d'une diversité d'outils numériques aux fonctions multiples permet d'entrevoir la possibilité d'une approche pédagogique hybride mêlant apports du numérique et coach accompagnant. Dans ce contexte, les apprenants apprennent à apprendre et à mobiliser des informations pour résoudre des problèmes plutôt qu'à acquérir des connaissances spécifiques. Les enseignants choisissent les ressources numériques pertinentes parmi les bases à leur disposition et scénarisent les situations d'apprentissage afin de construire des modules d'enseignement spécifiques et adaptés à leurs objectifs pédagogiques. Il peut s'agir

de situations pédagogiques soit *in situ* pour des apprentissages pratiques particulièrement pertinents dans les sciences du vivant ou pour le savoir-être en collectif, soit dans de nouveaux lieux d'apprentissages modulaires, adaptables et propices à l'interaction et aux nouveaux médias d'apprentissage. Les enseignants ont donc un rôle majeur dans la pédagogie et la gestion des connaissances. En ce qui concerne la production de ressources numériques ou l'utilisation d'outils numériques complexes, ils s'appuient – lorsqu'il y en a dans leur structure d'enseignement – sur les ingénieurs pédagogiques qui sont indispensables pour offrir des formations utilisant les outils les plus récents et les plus prometteurs. Les enseignants peuvent aussi animer des exercices réflexifs sur les enseignements tirés de l'expérience d'apprentissage.

L'accélération de la production de connaissance, la plasticité et l'accessibilité des technologies numériques et les communautés d'apprentissage en ligne font émerger des approches pédagogiques où les outils et les contenus d'apprentissages sont co-construits par des enseignants et des apprenants selon les besoins du moment. Les apprenants deviennent concepteurs et acteurs d'un apprentissage qui est de moins en moins basé sur des contenus et des modalités préétablis. L'échange et la co-construction de l'expérience pédagogique constituent l'essentiel de l'enseignement et la frontière entre sachants et apprenants s'amenuise.

Diplôme et certification professionnelle

Les méthodes de reconnaissance des acquis sont de deux types : le diplôme et la certification professionnelle. Le diplôme occupe depuis les années 1980 une place importante dans le système éducatif et dans le système d'emploi français. La tension sur l'emploi rend difficile l'intégration dans le marché du travail sans le « parchemin », d'où l'action des pouvoirs publics pour créer des certifications professionnelles permettant d'obtenir un « diplôme » reconnu sans passer par la case formation et examen. Ces deux modes de reconnaissance sont actuellement indispensables dans un contexte de fort chômage.

Cependant, les entreprises cherchent surtout à ce que leurs employés se qualifient sur ce dont elles ont immédiatement besoin et non pas forcément à ce qu'ils obtiennent des diplômes – sources de revendications salariales, de changement de postes ou de départ du salarié. Aujourd'hui, la priorité en matière de certification et de diplôme est la dimension de flexibilité et d'employabilité des salariés tout au long de la vie. Les certificats professionnels constituent des parties de diplômes acquis en un temps adapté à l'entreprise et au salarié, créent de la flexibilité accrue, et produisent des blocs de compétences à la convenance du salarié (Maillard, 2011). Pour assurer l'adéquation entre la formation des employés et les besoins de l'entreprise, certains grands groupes vont jusqu'à créer leurs propres programmes de formation initiale. C'est le cas par exemple des écoles 42 ou des *Google scholarships*. Face à l'accélération du changement, les entreprises exigent de l'agilité et des capacités à rapidement acquérir de nouvelles compétences. La capacité à l'auto-apprentissage et l'acquisition de compétences et de connaissances par le biais de certificats obtenus tout au long de son parcours professionnel prend donc plus d'importance. Cet apprentissage en continu selon les contingences peut désormais se faire via les nombreuses ressources pédagogiques en ligne. De plus, avec la multiplication de MOOCs à vocation certifiante, des certifications sur des compétences de plus en plus fines se développent introduisant une « granularisation » des apprentissages. La reconnaissance de l'acquisition de compétences se développe notamment par l'utilisation de badges ouverts que les

apprenants peuvent mettre en avant sur leurs profils en ligne et à travers lesquels ils constituent de véritables portefeuilles de compétences.

3.2.5 Relation entre formation initiale et continue

Place croissante de la formation continue

La formation continue s'est développée et professionnalisée à partir des années 1970, suivie par l'apparition d'une pédagogie spécifique à un public adulte (Dufour, 2013). Avec la montée du chômage, la formation continue apparaît non seulement comme un facteur de promotion sociale mais comme un levier pour prévenir et lutter contre le chômage. Au niveau européen, la question de la formation et de l'apprentissage a constitué dès le début des années 2000 un pilier des politiques de l'emploi. Les orientations européennes se sont progressivement imposées en France. Des lois successives ont renforcé le droit à la formation professionnelle et mis en place des dispositifs permettant d'accéder à des diplômes d'enseignement supérieur (Légifrance, 2007, 2017, 2018). Ainsi, des passerelles entre formation initiale et continue ont été créées.

Les formations initiale et continue se sont rapprochées autour de la notion de compétence qui a pris son essor dans les années 1990. La notion de compétence a profondément modifié la pédagogie de la formation initiale comme de la formation continue, que ce soient en matière d'objectifs d'apprentissage (« être capable de » et non plus seulement « savoir »), de méthodes pédagogiques (pédagogie active et non plus seulement cours magistral) et d'évaluation (Institut Montaigne, 2017). Les politiques publiques en faveur de la formation continue ont progressivement entraîné l'apparition d'un nouveau marché économique. Les organismes de formation continue se sont multipliés sur le territoire français, passant de 12000 à 17000 environ, entre 1999 et 2010 (DARES, 2012). Les EPST et les universités ont alors commencé à externaliser une partie de leur formation continue.

Ces trente dernières années, l'enseignement supérieur a été marqué par sa massification, l'allongement de la durée des études supérieures, et un financement qui, quoique croissant, n'a pas compensé la forte hausse des effectifs (MENESR, 2017). La dépense moyenne par étudiant a baissé régulièrement depuis 2008 (Piketty, 2017). En parallèle, le financement de l'État pour la formation continue de ses agents a fortement augmenté dans le début des années 2000, a atteint un pic en 2009 et diminue depuis (DARES, 2017).

Rapprochement des formations initiale et continue autour du numérique

Les enjeux démographiques et financiers ont poussé à augmenter l'usage des nouvelles technologies et du numérique dans l'éducation et la formation tout au long de la vie. Le développement des MOOC à l'échelle mondiale ou l'émergence de nouveaux opérateurs de formation dotés de modèles massivement numériques montrent que ce secteur connaît une véritable révolution.

Les questions soulevées par le numérique en matière d'évolution pédagogique sont les mêmes qu'il s'agisse de formation initiale ou continue : reconsidération du rôle du présentiel, développement de l'apprentissage mixte (*blended learning*) et plus globalement, diversification des méthodes pédagogiques, personnalisation de l'accompagnement des étudiants/apprenants, certification et évaluation des formations, etc. (Cese, 2015). Avec le

numérique, les formations se focalisent sur l'acquisition de compétences. En permettant le fractionnement des formations et la personnalisation des parcours, le numérique est une opportunité pour créer des passerelles entre formation initiale et formation continue. En particulier, il permet de réutiliser des modules déposés sur des plateformes d'apprentissage.

Le numérique entraîne une remise en cause et des évolutions des missions des enseignants et des formateurs. Il favorise la désintermédiation entre les acteurs de la formation. Les professionnels de la formation initiale et continue ont parfois le sentiment de « perdre le contrôle » de l'ingénierie de formation, d'être fragilisés, et ont besoin de se former pour s'adapter aux évolutions de leur métier.

On observe un double mouvement de concurrence et de volonté de mutualisation des moyens entre l'offre de formation initiale et continue. La qualité de l'offre de formation numérique devient un critère de choix pour les « clients-apprenants », une vitrine, une image de marque des universités et organismes de formation. Ceux-ci développent donc des politiques de soutien au développement de l'apprentissage numérique. Cependant, il leur faut considérer l'adéquation entre coût de formation et modèle économique. Le développement de formations numériques a un coût non négligeable alors même que les apprenants ne sont pas toujours prêts à les payer. Les établissements envisagent donc des collaborations et des mutualisations, dont FUN et Agreeen U sont des exemples.

Jusqu'à présent, l'enseignement supérieur n'est qu'un acteur minoritaire de la formation continue, que ce soit en présentiel ou en apprentissage numérique. Par exemple, le développement de MOOCs universitaires reste marginal par rapport à l'effort déployé par les organismes de formation continue dans ce domaine, et les usagers des MOOCs sont en majorité des hauts diplômés déjà dans la vie active. Mais l'université vise à renforcer sa place sur le marché de la formation continue à travers le développement de son offre numérique (Cese, 2015).

3.2.6 Hypothèses d'évolution à 2040 des pratiques d'enseignement et de formation

A partir des analyses précédentes, cinq hypothèses d'évolution des pratiques d'enseignement et de formation ont été élaborées.

Fracture sociale et ultra-libéralisation de l'apprentissage

En 2040, le numérique a augmenté les inégalités. Les personnes diplômées ont appris à utiliser les outils numériques d'enseignement à des fins de développement de carrière et savent sélectionner les bons cursus conduisant aux meilleurs diplômes et certifications dans la multitude d'offres. Celles qui n'ont aucun diplôme ne sont pas formées au numérique. Les écarts sont accentués du fait que les formations numériques de qualité sont payantes, n'y accèdent que les personnes avec un certain niveau de revenu. En effet, ce sont les grandes entreprises numériques, GAFAM et BATX, qui dominent le système d'enseignement et de formation. Leurs enjeux sont de développer les compétences dont elles ont besoin, que ce soit en formation initiale ou continue ; mais aussi de rendre la population dépendante de leurs produits et services. Les outils numériques d'enseignement et de formation proposés sont de haute qualité. Les formations ou « universités » proposées par de grandes entreprises entrent en compétition avec l'enseignement public, dont les moyens plus limités ne

permettent pas de proposer un niveau de formation aussi performant, et vers lequel se tournent les étudiants et apprenants de milieux peu favorisés. Les formations initiales et continues sont donc à deux vitesses. Les enseignants ont deux options. Soit ils rejoignent les formations des grandes entreprises où ils ont accès aux outils numériques les plus performants et où ils peuvent développer des pédagogies innovantes pour des apprenants triés sur le volet. Soit ils restent dans le système public où les moyens limités ne leur permettent pas d'offrir les mêmes services mais les poussent à développer des stratégies de contournement pour un public moins expert en numérique.

Une société de l'apprentissage inclusif

La politique d'enseignement et de formation a pour ambition de proposer un enseignement et une formation continue de qualité, accessible à tous, quels que soient les niveaux d'éducation et les moyens financiers des apprenants. Les outils numériques sont devenus extrêmement variés pour répondre à la variété des apprenants qui peuvent ainsi trouver ceux qui leur conviennent. 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. Le numérique favorise le développement d'une société d'apprentissage, et la formation continue devient prépondérante sur la formation initiale qui n'est finalement que la première étape d'un processus engagé tout au long de la vie. Les communautés d'apprentissage hétérogènes réunies autour d'objets communs construisent elles-mêmes leurs propres contenus de formation à caractère transdisciplinaire.

Planification numérique de l'enseignement

Le ministère en charge de l'enseignement supérieur et de la recherche mise sur la technologie et confie à des algorithmes la mission de produire des cursus d'enseignement et de formation personnalisés, à la carte. Son but est de garantir l'employabilité des citoyens en développant les compétences recherchées par les employeurs, parmi lesquelles les compétences numériques ont une place prépondérante. L'État planificateur met à disposition des apprenants des ressources numériques de grande qualité utilisées à distance et en présentiel. Les enseignants deviennent des coaches accompagnants dont le rôle principal est de conseiller les apprenants dans leurs parcours numériques individualisés, de s'assurer de leur montée en compétence et de les orienter en fonction de leurs performances. Ils sont eux-mêmes parfaitement au fait des avancées en technologie numérique d'apprentissage sur lesquelles ils ne cessent de se former, ils connaissent le marché de l'emploi et ont des compétences dans le relationnel.

La jungle numérique de l'apprentissage

Du fait du désinvestissement des politiques publiques envers l'enseignement et la formation ainsi que du rejet des nouvelles générations vis-à-vis de l'enseignement traditionnel, les organismes de formation continue et la certification ont totalement disparu. Chacun est responsable du développement de son capital formation et se débrouille seul, en utilisant des outils numériques développés par toutes sortes d'entreprises, dont des start-ups et de

puissantes entreprises intermédiaires. Cependant, cette totale liberté n'est qu'un leurre, car l'apprenant est complètement dépendant des algorithmes de formation qui vont décider de son parcours. Les indicateurs rigides sur lesquels ils sont basés lui ouvrent ou lui ferment des opportunités de développement professionnel. Le seul accès à la formation est l'entreprise. C'est elle qui paie les formations pour ses salariés, donne accès aux données et les analyse, mais aussi programme les parcours de formation individuels à l'aide d'algorithmes. De façon naturelle, les individus constituent des communautés de formation centrées autour d'un coach accompagnant qui est soit rémunéré par l'entreprise numérique, soit auto-entrepreneur. La profession d'enseignant en tant que telle n'existe plus.

Foisonnement numérique et écosystèmes locaux de l'apprentissage

Les ressources pour l'apprentissage en ligne continuent de se multiplier. Face à cette abondance, chacun est libre de développer son capital formation en rejoignant ou en constituant une communauté de formation connectée mais locale et centrée autour d'un coach accompagnant. Localement, des communautés d'apprentissage s'organisent et tissent des liens avec les institutions territoriales de l'ESR. Cela n'empêche pas ces groupes d'interagir au niveau mondial via internet avec d'autres acteurs lointains.

3.3. Données

Alain Bénard, Caroline Martin, Christian Pichot, Mehdi Siné

Dans les domaines agronomique et vétérinaire, l'évolution de la recherche comme celle de la formation dépend fortement de la capacité à s'adapter aux changements en matière de données. L'usage du numérique modifie les modes de production de données ; leurs origine et nature se diversifient et les volumes produits augmentent exponentiellement. Le premier enjeu concerne la production et le stockage des données. Doit-on et peut-on conserver toutes ces données ? Le second enjeu concerne le traitement des données. Quelles méthodes et quels outils faudra-t-il développer pour traiter la double problématique de diversité et volume qui constitue ce qu'on appelle communément les données massives et pour laquelle apparaissent de nouveaux métiers comme les chercheurs en sciences de la donnée ? Un troisième enjeu concerne la qualité des données. Les grands défis du XXI^{ème} siècle posent pour la plupart des questions d'ordre global telles que l'adaptation au changement climatique ou encore la sécurité alimentaire à l'horizon 2050 et au-delà. Y répondre nécessite de croiser les disciplines, de mobiliser et analyser des jeux de données provenant de multiples origines dont les simulations. Dans ce contexte la réutilisation des données à des fins multiples prend une importance majeure. Elle impose des exigences de qualité et d'interopérabilité qui modifient les pratiques habituelles d'utilisation des données tout au long de leur cycle de vie. Un quatrième enjeu concerne les modalités de circulation de la connaissance et des données. Les principes FAIR (*Findable, Accessible, Inter-operable and Reusable*) (voir section 3.3.3 Qualité des données) récemment édictés formalisent de nouvelles attentes. Le partage des données « autant que possible » devient la nouvelle

norme et constitue un des éléments majeurs de la science ouverte. Pour autant cette ouverture ne peut être sans limite afin de protéger les personnes ou les intérêts et enjeux particuliers. Le partage des données s'accompagne ainsi de la mise en place « autant que nécessaire » de réglementations spécifiant les modalités de circulation et d'usage des données, comme l'illustre la récente instauration de la RGPD.

3.3.1 Production et stockage des données

La donnée numérique et le web

L'arrivée du web au milieu des années 1990 révolutionne la production de données et entraîne une accélération de la fourniture de supports numériques, à commencer par le multimédia (son, image, vidéo) facile à manipuler. Tout devient numérique et le partage offert au travers du web permet des valorisations sans limite ; l'information géographique ou la donnée satellitaire peut se manipuler sur un simple ordinateur personnel et des résultats multimédia peuvent valoriser les travaux.

Les deux décennies suivantes nous font entrer dans l'ère des données massives et de ses trois « V » : croissance du Volume généré, Variété des données, et Vitesse de production des données.

La collecte manuelle cède peu à peu la place aux capteurs numériques et à la montée en puissance de chaînes de production de données (workflow basés sur la modélisation). De nouveaux flux de données sont issus de services qui génèrent eux-mêmes de nouvelles données comme les plateformes d'enseignement ou encore l'agriculture de précision, sans oublier les traces laissées par les utilisateurs lors de leur passage sur le web.

Du point de vue du stockage, la mise à disposition de gros volumes de données pour une population connectée implique d'utiliser Internet comme support de transport et de s'appuyer sur des infrastructures de stockage de haute performance telles que les *data center* – qui questionnent la consommation énergétique de l'ensemble. Les GAFAM ont apporté leur lot de nouveautés ; par exemple l'hégémonie des bases de données relationnelles est désormais concurrencée par des solutions de stockage fortement distribué pour des données peu structurées.

Plus d'instrumentation, plus de volume et plus de partage et de réutilisation impliquent une meilleure description des données au travers de métadonnées et des travaux importants sur l'interopérabilité. Ce constat influence la collecte de données qui doit prendre en compte cet aspect et répondre à des critères de plus en plus définis sur le plan qualité et réutilisation notamment. Un article de Servigne *et al.*, (2012) tente de représenter « de manière homogène des données hétérogènes » et rappelle tout l'intérêt des travaux sur la standardisation et la sémantique.

Le déluge de données que certains prédisent pourrait mettre à mal nos capacités à gérer les données, que ce soit sur la question du stockage, ou bien sur celle du traitement dans un contexte où des acteurs privés du numérique sont devenus plus puissants que les Etats. La production traditionnelle de données par la science, s'appuyant sur des protocoles rigoureux sera-t-elle encore de mise devant l'abondance des capteurs dans un monde ultraconnecté ? Le succès ou le recul de la mouvance pour la science ouverte – qui inclut la donnée ouverte

– orientera fortement le cycle de vie des données de demain, notamment avec des exigences accrues de qualité et traçabilité. La collecte en temps réel, automatique et transparente effectuée par des objets connectés ou des services en ligne questionne déjà les usages des données, parfois peu compatibles avec la protection de la vie privée et l'autonomie des individus. Les réglementations en cours et à venir devront à la fois rassurer les usagers et permettre la fluidité des échanges.

3.3.2 Traitement des données

Les moyens et l'organisation

Le traitement de la donnée dépend non seulement des caractéristiques des données telles que décrites dans la section précédente mais aussi des moyens disponibles et de leur organisation. Avant l'arrivée de l'ordinateur personnel dans les années 1980, la donnée était collectée dans un but bien précis pour une analyse généralement statistique avec des moyens limités à travers des ordinateurs centraux.

L'ordinateur personnel et sa fulgurante évolution apportent une autonomie de traitement aux chercheurs avec une puissance porteuse de nouvelles approches : le langage R, très utilisé dans la communauté scientifique, voit le jour en 2003 tandis que le premier ordinateur personnel multicœurs apparaît en 2005. Les ordinateurs centralisés ne disparaissent toutefois pas du paysage et l'on assiste à la montée en puissance des grappes ou clusters de calcul moins coûteux que les supercalculateurs que seuls certains peuvent s'offrir ; la disponibilité et la « scalabilité » de ces offres permettent l'exécution de traitements difficilement réalisable sur des ordinateurs individuels et le couplage de ces deux moyens permet des traitements et donc des recherches jusqu'ici impensables.

L'enseignement supérieur et la recherche s'est organisé pour mutualiser des ressources de calcul et de stockage. A titre d'exemple le réseau de partage RENATER démarre en 1999 et le groupement d'intérêt scientifique France Grilles fédère un certain nombre de ressources numériques mises à disposition des communautés scientifiques.

Aujourd'hui, le chercheur navigue parmi ces offres, des solutions locales ou simplement l'usage de son ordinateur personnel et les services de *cloud computing* vendu par les GAFAM (AWS, Google Cloud ou couplage à des outils livrés par les GAFAM tels que l'outil open source d'apprentissage automatique Tensor Flow). L'offre de moyens s'appuie sur Internet et le partage qu'il permet, ainsi que sur une industrie du logiciel florissante. La donnée elle-même devient un constituant de la recherche que l'on peut collecter, fabriquer, acheter, partager et réutiliser à loisir ; le mouvement de la donnée ouverte est lancé. L'évolution des capteurs, aujourd'hui essentiellement numériques, la multiplicité des objets connectés et les prétraitements que les uns et les autres peuvent réaliser apportent une évolution importante dans les premières étapes du traitement des données. Les promesses de l'ordinateur quantique, réservé aujourd'hui à quelques grands comptes, pourraient bouleverser les organisations actuelles. A la différence de l'ordinateur classique qui ne traite que des informations binaires l'ordinateur quantique traite des Qbits qui peuvent prendre une infinité de valeurs ; le traitement simultané de ces informations lui confère un potentiel bien supérieur. A titre d'exemple, le physicien Peter Shor a démontré dans les années 1990 qu'un ordinateur quantique pouvait casser une forte clé de chiffrement en une centaine de secondes alors que les ordinateurs les plus puissants du moment devaient consacrer environ un milliard d'années.

Les activités et méthodes

L'évolution décrite au chapitre précédent engendre des usages et des possibilités auparavant inenvisageables. La modélisation, bien que déjà ancrée dans la science et dans l'enseignement, se développe fortement. On modélise aujourd'hui pour répondre à de grands enjeux comme l'évolution du climat ou le futur de l'alimentation mondiale. La simulation permet d'explorer de multiples hypothèses d'évolution. L'enseignement explore également le potentiel de la simulation numérique pour mettre en situation les apprenants, avec par exemple des plateformes de réalité virtuelle (Silva Numerica : <https://pollen.chlorofil.fr/silva-numerica-apprendre-la-foret-par-simulation/>).

Le parallélisme des calculs n'est pas seulement au cœur des algorithmes mais aussi dans l'activité scientifique elle-même qui met en œuvre l'interdisciplinarité et répartit les traitements dans les collectifs. Les workflows de traitements permettent d'ordonner de multiples traitements de données pour souvent produire un résultat numérique qui à son tour alimente un autre processus numérique. Ce flot de données et de traitements numériques appelle à établir des règles de communication et de description des processus de traitement et des données pour assurer une interopérabilité que l'on voudrait généraliser. Le web de données et les web services développés massivement sont souvent confrontés à cette question.

Ces dernières années ont vu l'intelligence artificielle et la fouille de données occuper le devant de la scène avec des activités différentes engendrant de nouveaux métiers et une approche plus globale de la science. Les données massives, non seulement par leurs volumes mais aussi par leur diversité, nécessitent de mettre en œuvre des moyens et des technologies qui ne sont pas forcément accessibles à tous, que ce soit sur le plan financier ou celui des compétences disponibles. A titre d'exemple, le traitement d'images basé sur des intelligences artificielles permet aux chercheurs et aux entreprises de développer des services d'analyse d'images pour l'agriculture.

La capacité à traiter les données disponibles sous diverses formes dans un monde de données massives pourrait bien engendrer des exclusions et favoriser une science à deux vitesses, voire laisser certains créneaux à de grands groupes privés ou publics. La mutualisation et le mouvement de la science ouverte – pratiqués actuellement par d'autres communautés scientifiques – peuvent apporter une solution au traitement des données massives. Les technologies et leur accessibilité, ordinateur quantique et intelligence artificielle notamment, influenceront certainement les équilibres. Enfin, la réglementation sur l'accès et le traitement des données, sous l'influence, d'une part, des grands groupes et de l'autre, des citoyens, dessine un paysage futur difficile à anticiper.

3.3.3 Qualité des données

Une question d'importance

L'augmentation croissante des volumes de données dans les organisations de recherche et d'enseignement supérieur, conjuguée à une évolution régulière des systèmes d'information, engendre des préoccupations importantes autour de la qualité des données. La qualité des données désigne l'aptitude de l'ensemble des caractéristiques intrinsèques des données (fraîcheur, disponibilité, cohérence fonctionnelle ou technique, traçabilité, sécurisation, exhaustivité) à satisfaire des exigences internes (pilotes, prise de décision...) et des

exigences externes (réglementations...) à l'organisation. Dans un contexte où les organisations sont contraintes de collecter plus de données pour produire plus d'informations, la question de la qualité des données est prégnante, les facteurs de dégradations de leur qualité sont multiples, et le coût de leur fiabilisation est incertain.

Un enjeu majeur pour la recherche et la reproductibilité de la science

La qualité des données est essentielle à la réalisation des recherches nécessitant l'interopérabilité de systèmes complexes et des jeux de données qui les composent. En particulier, elle exige une traçabilité qui se manifeste dans de nombreux secteurs scientifiques et économiques : santé et pharmacie, agroalimentaire et grande distribution, chimie, automobile...

Mettre en qualité les données : une incitation forte

La qualité des données est un enjeu majeur pour la réutilisation des données issues de données massives. Les bailleurs de fonds publics de la recherche, certains éditeurs et un nombre croissant d'agences gouvernementales exigent dorénavant la publication de données ouvertes ou facilement réutilisables, et des plans de gestion de données à long terme. Dans cette optique, le *FAIR data* apparaît comme un moyen précieux pour mieux valoriser les données. Il repose sur les principes suivants : les données sont faciles à retrouver par tous, sont dans tous les cas récupérables par leur identifiant à l'aide d'un protocole standard de communication, les jeux de données utilisent des métadonnées contextuelles précises, les contenus et formats respectent les standards internationaux, et enfin, les données sont mises à disposition selon une licence explicite et accessible.

En France, la loi « pour une République numérique » d'octobre 2016 précise que dès lors que les données liées à une publication ne sont pas protégées par un droit spécifique et qu'elles ont été rendues publiques par le chercheur, leur réutilisation est libre. Depuis juillet 2018, un plan national de la science ouverte prévoit également une obligation d'assurer la qualité des données par la mise en pratique des principes FAIR et l'exigence d'inclure un plan de gestion des données (*data management plan*) dans tous les appels d'offre ANR.

La qualité des données facteur de convergence technologique

Grâce aux récentes avancées en informatique cognitive, en intelligence artificielle et dans la puissance de traitement des données, la gestion de la qualité des données risque d'évoluer fortement. La question de la qualité des données ne se posera plus de la même manière, mais fera intervenir des processus d'intelligence artificielle pour extraire du sens dans ces quantités massives de données. L'intelligence artificielle pourrait alors agir à plusieurs niveaux : l'identification, la prédiction, l'automatisation intelligente de la collecte de données, la détection efficace des anomalies, l'enrichissement des données elles-mêmes.

Les évolutions de la qualité des données s'orientent vers une intervention importante de la machine au travers de l'intelligence artificielle pour affiner les méthodes de mise en qualité des données afin notamment de satisfaire aux exigences de qualité formulées par les agences de financement de la recherche. En conséquence, certains champs de la recherche

les domaines disciplinaires qui ne pourraient pas répondre à ces exigences pourraient être marginalisés.

3.3.4 Modalité de circulation des connaissances et données

Un modèle à bout de souffle ?

La publication et la diffusion des écrits scientifiques décrivant les travaux de recherche et les résultats obtenus ont longtemps constitué la principale modalité de circulation des connaissances. La publication des résultats et découvertes scientifiques recouvrait un double objectif. Premièrement, cela permettait de porter à connaissance auprès de l'ensemble de la communauté les protocoles expérimentaux mis en œuvre afin que d'autres scientifiques puissent reproduire l'expérience. Cela permettait également d'enregistrer la preuve de l'auteur de la découverte pour sa notoriété. A partir du XIX^{ème} siècle de nombreuses revues scientifiques voient le jour ainsi que de grands éditeurs scientifiques encore connus aujourd'hui (Elsevier est fondé en 1880). A la fin du XX^{ème} siècle, la pression à la publication (*publish or perish*) s'est accrue en raison des évolutions sociétales et gestionnaires exigeant un retour sur investissement des financements alloués à la science. C'est aussi une des conséquences des systèmes d'évaluation des scientifiques dont le critère majeur est la publication des résultats dans des revues scientifiques à comité de lecture et à fort facteur d'impact. L'édition scientifique est ainsi devenue un marché contrôlé majoritairement par des groupes d'édition privés, de plus en plus concentrés et associant étroitement publications et services. Pour les institutions de recherche et d'enseignement, le coût des abonnements aux revues scientifiques est toujours en hausse selon une logique qui donne un avantage compétitif important aux grands éditeurs.

Des démarches pour sortir du modèle traditionnel : libre accès et donnée ouverte

Avec l'essor d'internet et la philosophie qui le sous-tend, un mouvement du libre accès a émergé qui revendique un accès en ligne et gratuit aux publications scientifiques, partant du principe que les résultats scientifiques sont des biens publics. Le mouvement du libre accès s'est développé à travers la création d'archives ouvertes, de déclarations, d'incitations politiques et par le développement de nouveaux modes de publication. Ce mouvement concerne les publications mais également les données de la recherche. En parallèle, s'est développé un mouvement de la donnée ouverte, c'est-à-dire l'ouverture de données publiques. La philosophie de ce mouvement réside dans le fait que la création de valeur passe désormais aussi par la mise à disposition et le partage des données.

Vers une science ouverte ?

En 2012, la Commission européenne a fait du libre accès aux publications scientifiques un principe général. Depuis, elle accélère les initiatives et incitations pour mettre à disposition les publications scientifiques et ouvrir les données issues de la recherche publique. De nombreuses initiatives et législations en faveur de l'ouverture des données scientifiques ont vu le jour, remettant en cause le modèle traditionnel de la publication scientifique. Les États-Unis ont été l'un des premiers pays à introduire des dispositions légales (Consolidated Appropriations Act, 2008) concernant la mise à disposition au public des travaux de

recherches financés par le National Institutes of Health (NIH). Au Royaume-Uni, le libre accès est également un principe désormais ancré dans les pratiques, associé à une solution duale d'accès *green* et *gold* aux travaux scientifiques. Ces deux Etats sont très investis dans ces systèmes de publication, et ont lancé ensemble en 2013 une initiative intitulée UK-US Global Innovation Initiative. D'autres pays développent également des initiatives pour ouvrir les données et les publications scientifiques, comme par exemple l'Allemagne (avec la modification de la loi allemande sur le droit d'auteur) et la France (Loi pour une République numérique, Plan national pour la science ouverte).

Des limites à dépasser

Si la donnée ouverte et le libre accès ont fortement amélioré les conditions de circulation des données et des publications, notamment grâce à l'essor d'Internet, il existe encore de fortes contraintes techniques, juridiques et économiques à dépasser :

Des contraintes techniques

Les principaux problèmes concernant l'exploitation des données ouvertes sont d'ordre technique car les données massives ne peuvent pas être traitées humainement.

Des contraintes juridiques

Le fondement du droit d'auteur est fortement revisité par tous ces modèles. Le débat se cristallise autour du respect du droit d'auteur comme principe de créativité et de diversité culturelle, associé au principe de la juste rémunération des créateurs dans un environnement numérique, versus la notion de bien commun appliquée aux objets scientifiques. Ce débat n'est pas clos au niveau du Parlement européen et de la Commission européenne.

Des contraintes économiques

Une partie des données de recherche constituent potentiellement un actif exploitable pour les entreprises et les secteurs économique et industriel, au-delà du partage et de la réutilisation dans le monde de la recherche lui-même. La mise à disposition de jeux de données doit trouver ses acteurs économiques et ses débouchés. Sans des politiques incitatives (capital-risque / start-ups...), des quantités de jeux de données ne pourront pas être exploitables économiquement.

La science ouverte à la croisée des chemins

L'évolution vers la science ouverte semble bien engagée. L'intensité des changements à opérer pour atteindre une vraie politique de science ouverte peut cependant varier en fonction de plusieurs facteurs. Premièrement, le degré d'incitation de la puissance publique à mettre en place les conditions idoines à l'ouverture des données publiques et des publications scientifiques varie : une forte incitation permet un cercle vertueux d'ouverture avec un contrôle de qualité des données avancé permettant une exploitation scientifique, économique générant de la valeur ; une moindre incitation génère des différences de mises en ouverture entre les producteurs de données et donc des systèmes à plusieurs vitesses dommageables à la libre circulation des données et des connaissances.

3.3.5 Hypothèses d'évolution à 2040 pour la composante « Données »

A partir des analyses précédentes, cinq hypothèses d'évolution sur cette composante « Données » ont été élaborées.

La donnée surréglementée

La méfiance de la société vis-à-vis de l'utilisation des données qui la concerne aboutit à des réglementations publiques qui imposent aux collecteurs et utilisateurs de données des déclarations systématiques et des mécanismes de protection et qualité des données très encadrés. Il en résulte des difficultés à valoriser les données massives, ce qui freine le développement de certains travaux scientifiques. Du point de vue des métiers, une connaissance juridique de plus en plus importante s'avère nécessaire pour la bonne application des réglementations.

La donnée ouverte réussie

Les exigences des financeurs et des éditeurs en termes de qualité et d'interopérabilité des données ont abouti à l'application des principes FAIR (*Findable, Accessible, Interoperable, Reusable*) de manière généralisée. Les données et métadonnées peuvent ainsi être plus facilement localisées et utilisées dans un contexte où les technologies ont continué d'évoluer sans rupture majeure ni contrainte particulière. De nouveaux métiers permettant de certifier les données et les métadonnées qui les accompagnent permettent d'alimenter les entrepôts de données de manière fiable. Les données sont alors réutilisées en toute confiance dans un monde où la donnée ouverte s'impose comme constituant la règle en 2040.

Les données massives et les données expertes

En 2040, le foisonnement des objets et capteurs connectés permet d'obtenir de très grandes quantités de données à bas coût, ce qui concurrence la donnée traditionnelle obtenue par un protocole et parfois coûteuse à collecter. De la même façon, les données issues de la simulation s'inscrivent dans le paysage comme une nouvelle source de données qui alimentent des travaux de recherche ou l'enseignement. Les chercheurs ont dû adapter leurs compétences pour traiter de nouvelles sources très souvent peu structurées (données massives) et de qualité variable ; ils continuent cependant d'organiser des collectes de données plus ciblées, sur des données qui ne sont pas disponibles par ailleurs et qui sont nécessaires à leur recherche. Certains d'entre eux mettent au point des prétraitements implémentés directement dans les capteurs pour épurer et agréger les données brutes. Les problèmes que peuvent engendrer le croisement des nombreuses données engendrent dans le même temps un renforcement des réglementations.

Un tsunami de données

En 2040, les collectifs scientifiques sont submergés par les quantités de données qu'ils collectent mais ne peuvent organiser, stocker, traiter ou publier. Cette difficulté engendre un recours massif aux *Data Analyst*, seule solution pour faire le tri dans les données et identifier

a minima ce qui mérite d'être conservé, traité et éventuellement mis à disposition car il est devenu impossible de tout conserver... La question du stockage est devenue secondaire, étant acquis qu'il est impossible de tout conserver et que les travaux doivent être menés sur un flux continu de données. La qualité des données est devenue une question secondaire, le volume compensant une éventuelle défaillance. Dans ce scénario, l'échec de la donnée ouverte tout comme son succès peuvent être envisagés de manière indifférente car d'un côté, les scientifiques utilisent les données massives, signe que l'ouverture existe mais de l'autre, ils peuvent être en difficulté pour publier les données qu'ils collectent.

Une dévalorisation des données produites par la recherche publique

En 2040, l'ESR est mis à mal par les capacités des entreprises privées devenues centrales dans le traitement des données. Ces entreprises détiennent suffisamment de données pour alimenter leur recherche basée sur l'IA, les données de projets scientifiques n'apportant que très peu de plus-value. Cette nouvelle science s'appuie sur des données de haute qualité notamment en termes d'interopérabilité, ce qui exclut de nombreux fournisseurs de données ; seuls les analystes de haut niveau sont capables de les traiter. La recherche publique est dépassée technologiquement par les entreprises dans le monde de la donnée ouverte. La capacité de traitement est devenue cruciale et la donnée simulée acquiert une valeur reconnue dans un contexte où la finalité est la prédiction.

3.4 Interactions de l'ESR avec la société

Marco Barzman, Evelyne Lhoste

Les liens entre l'ESR et son écosystème se transforment. La transition numérique, la mondialisation, la priorité à l'innovation et le souhait d'augmenter l'efficacité, l'impact et la visibilité de la recherche et de l'enseignement supérieur tendent à impliquer plus directement une plus grande variété d'acteurs qu'auparavant.

Après la Seconde Guerre mondiale et jusqu'aux années 1980, le système de recherche et de développement agricole adopte une structure linéaire allant de la recherche jusqu'aux utilisateurs finaux en passant par l'enseignement et le conseil. Cette linéarité reflète l'idée d'une diffusion des connaissances et d'inventions à partir de la recherche vers des utilisateurs finaux (Rogers, 1962). L'objectif principal durant cette période est d'atteindre l'autosuffisance alimentaire et les interlocuteurs privilégiés sont les exploitants agricoles et l'Etat (ACTA, 2016). L'Inra contribue au développement des filières de production et des industries agro-alimentaires.

Depuis les années 1980, le système de recherche et d'innovation se caractérise par le développement de formes hybrides de partenariats entre recherche publique et firmes industrielles (Pestre, 2003). Ses enjeux économiques sont fixés conjointement par les acteurs de la recherche académique, l'Etat et les industries. Dans les années 1990, de nouveaux défis – environnementaux, sanitaires, bien-être animal, contribution à la

croissance économique – portés par des acteurs de la société civile transforment leur relation avec l'ESR. Les thématiques traitées par les organismes de recherche et d'enseignement en agronomie, environnement, alimentation et sciences vétérinaires se diversifient et créent des liens avec de nouveaux types d'acteurs (ACTA 2016).

L'innovation et la production de connaissances sont comprises comme émergeant d'un processus réticulaire et multi-acteurs mais le mythe d'un processus d'innovation linéaire est encore vivace.

3.4.1 Place de l'ESR dans son écosystème

Relations de l'ESR avec des acteurs économiques

Le mouvement des données ouvertes facilite le partage des données avec des acteurs économiques. Le numérique contribue en même temps à reconfigurer la chaîne de production des connaissances en agriculture.

L'innovation ouverte, associée au développement du numérique, favorise le développement de partenariats entre recherches publique et privée (Livre blanc de l'ESR, 2017). De nombreux groupes, telle la Fondation Concorde – un think-tank politique – appellent à créer de nouveaux écosystèmes rapprochant enseignants-chercheurs et entreprises, recherche finalisée et entreprises, start-ups et universités, écoles et laboratoires pour répondre à la concurrence engendrée par le numérique autour de l'innovation (Fondation Concorde, 2017).

Il existe de nombreuses initiatives favorisant des partenariats ciblant l'innovation. Certains sont centrés sur de nouveaux usages des technologies du numérique. C'est le cas de l'Institut de Convergence « Agriculture numérique, #digitAg » qui crée de nouvelles relations entre chercheurs, enseignants, producteurs, entreprises et collectivités territoriales autour du numérique en agriculture (IRSTEA, 2016). D'autres initiatives sont plus générales. Le Plan National pour l'Innovation lancé en novembre 2013 met en avant le rôle de l'ESR dans les Pôles Etudiants Pour l'Innovation, le Transfert et l'Entrepreneuriat – un programme d'accompagnement des étudiants dans la création de start-ups. Des Instituts de Recherche Technologique associant des établissements d'enseignement supérieur et de recherche, des grands groupes et des PME autour d'un programme commun de recherche, sont créés. Ils concentrent des moyens pour améliorer la visibilité internationale de la recherche et favoriser une stratégie industrielle de conquête de marchés (Livre Blanc de l'ESR, 2017). Le label Carnot, créé en 2006, favorise la recherche partenariale et l'innovation au sein des PME et des grands groupes – par exemple, 3BCAR est un institut Carnot porté par l'INRA sur la valorisation de la biomasse. Le programme CIFRE (Conventions Industrielles de Formation par la Recherche) subventionne depuis longtemps des entreprises pour l'embauche de doctorants (ANRT, 2019). L'INRA accompagne la création de start-ups pour renforcer les liens avec le monde de l'entreprise (INRA, 2018). Les SATT, Sociétés d'Accélération du Transfert de Technologies, créées par des établissements de recherche publics dans le cadre du Programme d'Investissements d'Avenir, favorisent la création de start-ups et le transfert des innovations issues de la recherche académique vers les entreprises.

On retrouve dans d'autres pays les mêmes efforts de rapprochement entre mondes académiques et entreprises. Il y a par exemple les centres *Catapult* au Royaume Uni (Catapult Network, 2017) qui indiquent avoir créé 3 000 collaborations entre acteurs académiques et industriels en quatre ans. Il y a aussi le programme états-uniens

Manufacturing USA lancé en 2014 qui développe des solutions pour la recherche et développement, la transition technologique, la formation des travailleurs et l'enseignement (Manufacturing USA, 2019).

D'autre part, les avancées dans le monde du numérique promettent la possibilité d'une intelligence artificielle, alimentée de données produites hors du monde académique, qui remplacerait de nombreuses fonction de la recherche académique dans le cycle de l'innovation.

Relations de l'ESR avec une diversité d'acteurs des territoires

Les territoires sont devenus un lieu privilégié pour développer l'innovation. La politique de site de l'ESR, en plus de créer une masse critique plus visible, s'inscrit aussi dans un développement territorial impliquant une grande diversité d'acteurs locaux. Dans certains territoires, la recherche publique est par exemple incitée à participer aux initiatives French Tech, un label lancé en 2013 désignant les territoires les plus favorables aux start-ups du numérique (Livre Blanc de l'ESR, 2017). Il existe un réseau thématique French Tech sur l'éducation et la formation (#EdTech) et un autre sur l'agronomie et l'agroindustrie (#FoodTech #AgTech). A l'INRA, l'accent mis sur le territoire et l'innovation ouverte, avec des dispositifs tels que les Laboratoires d'Innovation Territoriale (LIT) et les Territoires d'Innovation de Grandes Ambitions (TIGA), favorise les relations avec des réseaux d'agriculteurs, les PME, et les acteurs de l'économie sociale et solidaire (INRA, 2016). Les living labs, souvent soutenus par des collectivités territoriales, réduisent le délai entre la production de connaissances et leur mobilisation par les entreprises en facilitant les liens entre usagers et recherche et développement.

Relations de l'ESR avec des acteurs internationaux

La mondialisation et le numérique favorisent les liens avec des acteurs au-delà des frontières nationales. Les politiques européennes de recherche sont en particulier déterminantes. Les collaborations pluridisciplinaires, multiculturelles et multinationales y sont encouragées pour démultiplier le potentiel de recherche et d'innovation (MESR, 2009). Dans l'ESR français, on note à la fois un souhait de s'intégrer dans le paysage international et une inquiétude vis-à-vis d'un retard du système dans ce processus, y compris par rapport à la diffusion des outils et pratiques numériques (Institut Montaigne, 2017).

Au-delà de l'activité de recherche et d'enseignement, il y a aussi dans l'ESR un souhait de s'impliquer davantage dans les arènes mondiales où se définissent les agendas de recherche et les régulations concernant les défis globaux et les biens publics mondiaux (MESR, 2009). Sur la donnée ouverte, l'INRA participe déjà à des structures internationales telles que le *Global Open Data for Agriculture and Nutrition* ou la *Research Data Alliance* (INRA, 2017).

Relations de l'ESR avec la société civile non marchande

Les débats de société dans les domaines de l'agronomie, de l'alimentation, de l'environnement et de la santé animale se multiplient et augmentent en intensité. Dans les années 1960, ce sont les impacts sanitaires et environnementaux de l'agriculture qui donnent

naissance aux premières ONG environnementalistes (Trench, 2008). Dans les années 1990, le débat sur les OGM en particulier s'imisce dans la relation auparavant privilégiée et linéaire entre recherche, développement agricole et producteurs (ACTA, 2016).

Avec le web 1.0 – l'internet unidirectionnel jusqu'en 2003 – la publication sur internet permet à de nombreux citoyens de s'informer. Avec le Web 2.0 – l'internet interactif depuis 2003 – les réseaux sociaux et le smartphone, les citoyens publient et diffusent l'information. Il devient possible pour le public d'accéder aux coulisses de la production scientifique et de participer aux discussions internes (Trench, 2008).

Du fait de ces débats et de ces nouveaux outils, la relation entre l'ESR et la société civile non marchande évolue. Les citoyens affirment leur opinion vis-à-vis des débats scientifiques et incitent les acteurs de l'ESR à leur donner une place (Bensaude-Vincent, 2013). En agronomie, le système de R&D doit dorénavant répondre à des attentes multiples de la société. Cela interroge le modèle agricole dominant et les modes de recherche classiques au vu de leurs conséquences mitigées tant d'un point de vue de la production agro-alimentaire que de ses conséquences environnementales et sociales (ACTA, 2016). En 2013, l'INRA renonce à des essais OGM de plein champs (INRA, 2013). En 2018, dans un contexte de débats intenses sur le glyphosate et les perturbateurs endocriniens, l'INRA programme l'exclusion des pesticides de ses essais.

3.4.2 L'ESR et la communication avec les médias et les citoyens

Le passage à une nouvelle relation entre l'ESR et les citoyens est reflété dans la nature changeante de la communication entre ces deux sphères. Les chercheurs en *Public Communication of Science and Technology* (PCST) décrivent une évolution de la communication scientifique qui suit trois paradigmes chronologiques (Trench, 2008) :

- Le déficit
- Le dialogue
- La participation.

Le paradigme du déficit (*Dissemination*) domine la communication scientifique entre 1960 et 1990 (Schiele, 2008). Selon ce paradigme diffusionniste, la science transmet unidirectionnellement ses connaissances à un public qui manque de culture scientifique et qui serait mal équipé pour comprendre – d'où le « déficit » (Le Marec & Schiele, 2017). Selon ce principe, l'émergence d'une controverse révèle une communication défailante (Horst, 2008). Des enquêtes en 2006 et 2009 montrent que cette vision des relations sciences-société perdure dans la communauté scientifique (Besley & Nisbet, 2011).

Le paradigme du dialogue concurrence celui du déficit à partir des années 1990 (Le Marec et Schiele, 2017 ; Trench, 2008). Dans ce paradigme, on reproche à la science de s'aliéner des préoccupations de la société et de s'enfermer dans un monde de concepts et de formalismes (Cheng et al, 2008). Pour mieux comprendre le public et tenir compte du contexte dans lequel s'opère la communication, on engage, à l'aide de spécialistes de la communication scientifique, une communication à double-sens (Brown University, 2014). La remise en question des affirmations de la science est bienvenue – elle permet d'équilibrer et diversifier l'information (Bauer, 2008).

Le paradigme de la participation (*Conversation*) – ou modèle de l’engagement – va au-delà de la communication en envisageant la contribution active d’une diversité d’acteurs à un processus de négociations. Le dialogue ne sert plus seulement à une meilleure compréhension mutuelle, mais à pratiquer la science comme une activité collective autour d’enjeux qui concernent tout le monde (Riise, 2008). Il s’agit de positionner la science dans la société plutôt que de l’opposer à la société (Schiele, 2008). Les controverses sont considérées comme inhérentes au processus du développement technologique et de l’innovation (Horst, 2008).

Sciences participatives

Le paradigme de la participation engage l’ESR dans des démarches d’apprentissage de collaboration avec des acteurs sociaux n’appartenant pas au monde des grandes entreprises. Ce mouvement a débuté dès les années 1970 notamment avec l’engagement de chercheurs de l’Inra dans des recherches-actions avec les agriculteurs et la création des boutiques de sciences dans les universités néerlandaises (Sciences citoyennes, 2013). Elle se poursuit dans les années 1980 avec les revendications des associations de malades pour influencer la recherche sur le HIV. Dans les années 2000, l’Inserm a créé le Groupe de réflexion sur les associations de malades (*Gram*) et une Mission Inserm-Associations pour faciliter les interactions entre chercheurs et associations. Actuellement, l’intérêt pour les sciences participatives à l’INRA est fort (Merilhou-Goudard, 2017). Il existe de multiples initiatives dont la collecte de données sur la maladie de Lyme, la sélection participative pour l’agriculture biologique, ou la production agricole en circuits courts avec une participation d’agriculteurs et de consommateurs à la définition des protocoles de recherche. Le comité directeur de l’Inra s’est enrichi d’un « délégué aux Sciences en Société », l’institut a signé une convention de partenariat avec l’association « Consommation, logement et cadre de vie » (CLCV) en 2016 et la composition de son conseil d’administration a été ajustée en 2015 pour « assurer une représentation diversifiée des secteurs de la production, du développement et de la coopération agricoles, et des secteurs situés en amont et en aval ». L’Inra est membre de l’association Alliss qui a pour objectifs de promouvoir la participation des citoyens à la recherche. L’approche participative est mise en avant pour favoriser l’apprentissage tout en contribuant à la recherche. Il existe par exemple des projets impliquant des enfants-chercheurs, des parents-chercheurs, ou des patients et des enseignants qui expérimentent en collaboration avec des chercheurs du monde académique (Taddei et al, 2017). Si le numérique facilite la mobilisation d’acteurs non académiques dans la production de connaissances (*crowdsourcing*, *people-powered research*, *making*, ou *DIY-Bio*), il peut aussi faciliter le mouvement converse, c’est-à-dire l’implication des scientifiques dans le monde des citoyens dans des laboratoires ouverts (tiers-lieux, *makerspaces*, *fablabs*, ou *living labs*).

Perception d’une méfiance de la société civile envers l’ESR

Les réseaux sociaux facilitent parfois la diffusion de *fake science*, des pratiques allant « de la diffusion de fausses informations à la promotion de médicaments en passant par l’activisme climatosceptique ou antivaccin » par des revues scientifiques peu scrupuleuses, ce qui contribue à l’érosion de la confiance vis-à-vis de la communication issue de la science (Berditchevskaia et al, 2017). On peut cependant considérer que cette érosion supposée représente une opportunité pour les scientifiques de participer au débat dans la société

(Horst, 2008 ; Schiele, 2008) et de développer le sens critique des citoyens. De ce point de vue, l'enseignement porte l'importante mission « d'apprendre à apprendre, à interroger et interpréter, plutôt qu'à consommer naïvement les informations disponibles » (Taddei et al, 2017). Certains auteurs font état d'une perte de confiance de la société envers la science (Price & Peterson, 2016), mais la tendance n'est pas claire. Le Livre Blanc de l'ESR (2017) signale que la Cité des Sciences reçoit plus de 2 millions de visiteurs par an et que 66% des personnes sondées en 2016 se déclarent intéressées par l'actualité scientifique, contre 42% par l'actualité sportive. Des enquêtes aux Etats-Unis indiquent que la confiance du public dans la communauté scientifique se maintient à un niveau élevé (Funk, 2017).

Des stratégies sont mises en place pour éviter une déconnexion entre le monde scientifique et celui des publics. A l'échelle mondiale, l'émergence des MOOC (Massive Open Online Course) depuis 2010 révèle le besoin que les universitaires mais également les chercheurs des organismes de recherche ont de se rapprocher d'un public plus large que les seuls étudiants. Aux Pays-Bas, le Rathenau Institut organise des études et des débats pour « stimuler l'opinion publique et politique sur les aspects sociaux de la science et de la technologie » (van Est et al, 2014). En France, l'Institut des Hautes Etudes pour la Science et la Technologie se propose comme référent des relations sciences-société. Ce type d'initiative, et plus généralement, le passage à une relation multidirectionnelle souligne l'importance du rôle des médiateurs scientifiques (Torregrosa, 2009) et de l'évolution de ces métiers vers une approche plus distribuée de la circulation des connaissances. Aux Etats-Unis, une étude montre que des métiers tels que pédagogues informels, gardiens de parcs naturels, guides curateurs de musées, ou employés de zoos exercent de facto cette fonction et bénéficient de la confiance des publics. Les auteurs de cette étude proposent la formalisation de partenariats avec ces intermédiaires afin d'améliorer le dialogue science-société (Merson et al, 2018). Les tiers-lieux qui prolifèrent en particulier dans les centres de culture scientifique et technique et les universités, permettent d'envisager des relations plus horizontales entre experts scientifiques et experts non professionnels avec un rôle accru de professionnels de l'intermédiation entre des acteurs impliqués dans des activités de production de connaissances.

Possible perte de visibilité

L'enjeu est de taille, si l'engagement de l'ESR dans les questions de société est inefficace, sa communication peut se voir « ringardisée » et d'autres secteurs de la société pourraient dominer les activités médiatiques qui la concernent.

Le foisonnement d'informations transmises par les technologies numériques a créé une *économie de l'attention* où producteurs et fournisseurs de connaissances et d'informations se font concurrence. Le défi aujourd'hui est de capter l'attention des publics, en créant par exemple de la viralité ou l'effet Mathieu qui confère une visibilité surnuméraire (Cardon, 2015). La notoriété, basée sur le degré de présence dans les médias, devient essentielle et ce critère s'applique déjà aux universités. Le système Webometrics, créé par la recherche publique espagnole, classe les universités par rapport à l'accessibilité de leur site web et à la quantité de contenu sur internet. La science joue le jeu de la visibilité en investissant dans les nouveaux outils de communication comme Twitter, MOOCs interactifs, ou YouTube avec la participation de YouTubers scientifiques (Livre Blanc de l'ESR, 2017). Pour l'instant pourtant, des enquêtes indiquent que les scientifiques préfèrent le journalisme traditionnel

(Allgaier et al, 2013) et que, lorsqu'ils ont recours aux réseaux sociaux, ils en font un usage peu interactif (Jahng & Lee, 2018).

Le recours à internet et aux téléphones portables aux dépens des médias traditionnels (Peters, 2013) change la nature de la communication. De nouvelles formes de visualisation des résultats scientifiques font entrer en jeu l'art, les émotions et la dimension humaine dans la communication (Socientize, 2013). Dramaturgie, théâtralisation, récits, mise en scène cinématographique et personnification de la communication institutionnelle transmettent une compréhension plus profonde et plus critique de la science (Boujaoude et al, 2005 ; Wahl, 2016). Tout ceci n'empêche pas de compléter la communication virtuelle par des canaux de communication populaires et *in real life* (IRL) pour créer des tiers lieux propices à la mobilisation des non scientifiques. Le Dutch National Research Agenda (2016) a ainsi recours à des magazines et sites internet de vulgarisation de la science, festivals de musique, et talk-shows télévisés pour sa programmation participative de la recherche. Le consortium Engage2020 (2013) recense 57 méthodes et outils d'engagement : festival des sciences, café scientifique, journée portes ouvertes, salons ou interventions dans les écoles, jusqu'à la représentation des sciences dans le cinéma grand-public (Kirby, 2008).

IRL ou virtuelle, la communication entre deux mondes historiquement séparés nécessite un apprentissage. En 2008, de nombreux chercheurs français estimaient qu'ils n'avaient pas les capacités oratoires pour communiquer efficacement avec des non chercheurs (Gaillard, 2008). Aujourd'hui, les jeunes scientifiques sont mieux préparés dans ce domaine avec, par exemple, 'Ma thèse en 180s'. Les nouveaux outils de communication accélèrent le flux des informations et cette nouvelle temporalité pourrait créer une tension avec le temps long de la recherche. Cependant, une bonne communication ne suffit pas à satisfaire les besoins d'acteurs sociaux qui revendiquent plus de démocratie dans les choix stratégiques du système de recherche et d'innovation pour répondre aux défis environnementaux et sociaux.

3.4.3 Evaluation de l'ESR par la société

Impliquer les citoyens dans les orientations stratégiques

L'implication croissante de la société civile non marchande dans le fonctionnement de l'ESR pose la question de la démocratie et des limites des démarches participatives. Est-ce que le droit de regard des citoyens sur la science s'étend jusqu'à jouer un rôle dans la définition des stratégies au même titre que les grandes firmes industrielles et que l'Etat ? En tout état de cause, cette demande de participation de la société dans les orientations de la recherche est légitime (Brown University, 2014). Au Royaume Uni, la Royal Commission on Environmental Pollution recommande d'impliquer le public dans la formulation des stratégies de recherche « plutôt que simplement le consulter a posteriori sur des propositions » (O'Riordan, 1995). Une évaluation de sept cas de co-conception de programmation de la recherche conclut que ce modèle peut améliorer l'efficacité et la pertinence de la science et sa capacité de contribution à l'innovation (OECD, 2017). A l'INRA des actions communes élaborées via un dialogue constructif avec les acteurs de la société civile non marchande sont planifiées (INRA, 2016).

Impliquer les citoyens dans l'évaluation

Historiquement, les structures de l'ESR, leurs acteurs, les connaissances qui y sont produites, et les réponses à des appels à projets sont évalués par des organisations et par des acteurs issus de l'ESR, dans des structures étatiques. Aujourd'hui, les structures formelles d'évaluation de l'ESR commencent à s'ouvrir au-delà du monde académique. Depuis 2014, le Haut Conseil de l'Evaluation de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur conduit des évaluations avec un mélange de chercheurs et d'enseignants-chercheurs d'une part, et d'étudiants et de professionnels issus des secteurs privés ou publics, d'autre part (Pumain & Dardel, 2014). De même, l'Agence Nationale de la Recherche, qui évalue des réponses à des appels à projets, inclut dans son Comité de pilotage scientifique des acteurs non académiques issus du monde des entreprises (ANR, 2019). Pourquoi ne pas y intégrer des représentants de la société civile qui défendraient non seulement des enjeux économiques, mais aussi sociaux et environnementaux ? En parallèle, des systèmes de notation par internet se développent et pourraient un jour s'appliquer à l'ESR. Il s'agit d'outils d'évaluation et de classement fréquents dans l'hôtellerie, la restauration et les transports – TripAdvisor, par exemple – qui reposent essentiellement sur des critères subjectifs. Pour l'évaluation de certains établissements de l'ESR en tant qu'employeurs, cette notation existe déjà – les sites indeed.fr et glassdoor.fr publient des avis de stagiaires et d'agents sur l'INRA et AgroParisTech, respectivement.

Un tel degré d'implication de la société civile dans l'évaluation de la recherche pourrait remettre en cause les normes académiques – tout comme les grandes firmes industrielles influencent la programmation de la recherche conjointement avec l'Etat sur des enjeux économiques. Il reste à voir si les scientifiques sont prêts à accepter de tels changements. Des enquêtes récentes menées dans plusieurs pays montrent que si les scientifiques considèrent important d'établir un « dialogue entre partenaires égaux », ils considèrent le « grand public » mal renseigné sur la science et préfèrent l'exclure des arènes internes (Peters, 2013 ; Besley & Nesbit, 2011).

Quoi qu'il en soit, le monde académique doit fournir des réponses à une société civile de plus en plus présente. Autrement, l'ESR risque de devenir objet de méfiance ou de désintérêt.

3.4.4 Hypothèses d'évolution à 2040 des interactions de l'ESR avec la société

A partir des analyses précédentes, cinq hypothèses d'évolution des interactions de l'ESR avec la société ont été élaborées.

Coopération

Certains groupes concernés issus de la société civile atteignent, grâce à une légitimité acquise de longue date et via les réseaux sociaux, un degré important d'influence sur la recherche et l'enseignement. Ils réussissent à promouvoir des domaines qu'ils jugent prioritaires tels que la gestion des déchets nucléaires, le bien-être animal, ou le réchauffement climatique. Dans le but d'améliorer ses relations avec la société et d'accomplir sa mission au service de l'intérêt général, l'ESR co-conçoit sa communication avec ses partenaires économiques historiques et les acteurs de la société civile. Ensemble, ils mettent en place des médiateurs pour contrebalancer l'effet des infox et construire un dialogue

démocratique. En plus de ces interactions au niveau national, la reconfiguration territoriale de la recherche et de l'enseignement supérieur favorise l'intégration des acteurs territoriaux dans les instances décisionnelles de l'ESR, encourageant ce dernier à intégrer les enjeux sociaux, économiques et environnementaux des territoires dans le cycle de recherche-innovation.

Contrôle de l'ESR par les groupes concernés et les lobbies

Des représentants de lobbies et de groupes concernés siègent dans les comités d'évaluation institutionnels ce qui leur permet de définir la stratégie de l'ESR. En devenant membres majoritaires des conseils d'administration des universités, instituts et agences de financement de la recherche, ils orientent la recherche et l'enseignement supérieur. Ce pouvoir leur permet de promouvoir un mélange de recherches générique et finalisée qui répondent à leurs enjeux. Parallèlement, les chercheurs et enseignants-chercheurs, majoritairement contractuels, communiquent sur internet où ils promeuvent leurs talents, compétences et thématiques afin d'augmenter leur visibilité et employabilité.

Recherche agile et partenariale

Le délai entre la recherche et sa mise en pratique au service de la société marchande s'est considérablement raccourci, notamment sous l'impulsion du numérique. La société civile marchande renforce son rôle de partenaire institutionnel de l'ESR et siège dans les différents comités d'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur. Ce partenariat public-privé institutionnalisé est assumé par les instituts de recherche qui communiquent en collaboration avec leurs partenaires afin de promouvoir, notamment, une recherche distribuée et horizontale tournée vers les enjeux d'innovation définis par le secteur privé. Ce partenariat pousse une partie des instituts à fonctionner comme des prestataires de service qui, in fine, créent leurs propres start-ups, rachetées ultérieurement par les entreprises partenaires de l'institution.

ESR spécifique et fier de l'être

Suite à des tentatives ratées de partenariats conjoints avec des firmes industrielles et des acteurs de la société civile non marchande, l'enseignement supérieur et la recherche refusent l'évaluation par des acteurs sociaux et ne s'engagent plus dans les débats vifs du moment concernant la relation science-société. L'ESR adopte une stratégie alternative. Il défend son travail sur le temps long. Il met en avant l'utilité d'une activité de recherche et de formation des étudiants bénéficiant d'un certain décalage temporel avec le temps de la société civile et l'importance d'une distance vis-à-vis des intérêts marchands. Face au foisonnement de messages issus de la société civile marchande et non marchande, l'ESR assume dans sa communication institutionnelle la distance par rapport aux groupes d'intérêts et le temps long en recherche et dans la formation des étudiants. Cette stratégie crée un îlot de confiance de la société envers l'ESR.

Impuissance de l'ESR face à la puissance des réseaux

L'incapacité de l'ESR à communiquer sur son utilité sociale, couplée à la pression de groupes de la société civile marchande et non marchande organisés sur les réseaux sociaux, conduit dans un premier temps à la disparition de plusieurs thématiques et disciplines. En réaction, l'ESR cherche de nouvelles alliances pour se détacher de l'opinion de la société et assumer pleinement son décalage de temporalité face au dictat de la rapidité et du raccourcissement du cycle recherche-innovation-transfert.

3.5. Ethique et cultures numériques dans l'ESR

Caroline Martin, Geneviève Aubin-Houzelstein, Olivier Mora, Georges-Louis Baron, Evelyne Lhoste

Transparence et ouverture, éthique et déontologie des pratiques scientifiques et d'enseignement sont des éléments de réponse mis en œuvre pour favoriser les interactions entre société, chercheurs et enseignants, et légitimer la place des connaissances scientifiques dans la société. Les enseignants et les chercheurs sont amenés à s'impliquer dans le numérique pour comprendre les nouvelles formes de production et circulation des connaissances, comprendre les outils issus des nouvelles technologies et du numérique, apprendre à tracer leur production, et apprendre à pratiquer la transparence et protéger, valoriser voire labelliser leurs productions et savoir-faire. Ils doivent aussi apprendre à vivre dans une société ouverte où la connaissance est plurielle et n'est plus l'apanage des seuls experts professionnels.

Comment le numérique pourra accompagner à l'avenir pour réinventer les méthodes de production, de circulation et de transfert des savoirs ? Quel sera leur aptitude et leur capacité à continuer le dialogue nécessaire entre science et société dans un contexte d'usage généralisé des outils numériques ? Comment le numérique leur permettra-t-il de réinventer leur posture professionnelle et de garantir la spécificité des connaissances scientifiques ?

3.5.1 Education numérique des chercheurs, enseignants et enseignants chercheurs

L'éducation (ou formation) numérique des enseignants-chercheurs et chercheurs fait référence à l'apprentissage de l'usage des outils numériques pour la recherche et pour l'enseignement. Elle comporte plusieurs volets : apprendre à utiliser les outils numériques ; comprendre comment ils fonctionnent ; développer son esprit critique en matière d'usage, mettre en œuvre une éthique et une déontologie autour de ces pratiques numériques ; acquérir des compétences techniques spécifiques pour développer des supports pédagogiques (Bouchardon & Cailleau, 2018).

Une formation au numérique « sur le tas », très fortement liée à l'individu

Dans les années 1990, l'arrivée de la messagerie électronique et d'internet a transformé le quotidien des chercheurs et enseignants-chercheurs qui s'approprient ces nouveaux outils sans doute plus rapidement que la population générale du fait de l'impact qu'ils ont sur leurs pratiques de travail. Le numérique facilite les collaborations internationales en raccourcissant le temps et l'espace, transforme la façon de faire sa bibliographie, de publier, de communiquer ses résultats scientifiques et d'enseigner, de tracer, stocker, partager ses informations professionnelles.

Dans les années 2000 sont apparus les réseaux sociaux tels que Twitter et Facebook pour lesquels les chercheurs et enseignants-chercheurs ont eu une adhésion très variable et directement liée à leur usage personnel (Trioreau, 2016). Les établissements d'enseignement supérieur et de recherche, eux, s'en sont emparés par la suite pour leur communication institutionnelle.

En revanche, les chercheurs et enseignant chercheurs ont souvent recours aux réseaux professionnels tels que Linked In ou Researchgate car ils permettent d'augmenter leur visibilité et leur identité numérique, de développer des collaborations.

Les avancées technologiques, en particulier celles liées aux données massives, ont fait évoluer les métiers existants. Dans certaines disciplines, comme la génomique, le numérique a bouleversé l'organisation de la recherche (mutualisation d'outils dans des plateformes haut-débit et développement des collaborations sur des projets de grande ampleur, développement de nouvelles disciplines telles que les humanités numériques, ou nouveaux métiers tels que *chercheur en science de la donnée*). En matière d'enseignement, le numérique a profondément transformé les méthodes pédagogiques, et il ouvre des possibilités d'apprentissage personnalisé en lien avec les *learning analytics*.

Malgré la diffusion progressive du numérique dans l'éducation et l'enseignement, l'encapacitation et la réflexivité sur les usages restent insuffisantes

Après les initiatives individuelles, les politiques et les institutions ont pris conscience des énormes enjeux du numérique en éducation. Beaucoup d'établissements ont développé des schémas directeurs du numérique, fixant des objectifs en termes de développement d'infrastructures mutualisées, d'organisation, d'incitation à la formation numérique, de développement de plateformes de formation numérique. Les politiques nationales et internationales ont progressivement augmenté leur soutien aux infrastructures et au développement de la pédagogie numérique.

Si le besoin en ressources a été majoritairement comblé, la montée en compétences des agents reste un véritable enjeu. Elle demeure très hétérogène car fortement liée aux individus. Il y a un vrai décalage entre l'utilisation des outils et la réflexivité sur leurs usages. Ainsi, si la culture de l'ouverture est soutenue par les politiques publiques et les institutions (Legifrance, 2016), les agents n'ont pas toujours conscience des conséquences en matière de propriété intellectuelle, de « copyright », de données personnelles, de cybersécurité. De même, si l'utilisation des réseaux sociaux permet de rapprocher les enseignants-chercheurs et les chercheurs de la société, ils les mettent également en première ligne, ils peuvent se retrouver sur-sollicités, pris à parti, cibles d'attaque, ou perdus dans la jungle des outils en ligne. « [...] La nouvelle injonction au "*Be visible or Vanish*" laisse parfois les chercheurs

désemparés face à la multiplication d'outils de visibilité différents, complémentaires voire concurrents. Et cela au détriment souvent d'une réflexion sur ce qui constitue une bonne présence en ligne en général » (Réseau Urfist).

L'appropriation des outils ne suit pas le rythme des innovations technologiques et les usagers se retrouvent souvent perdus devant l'offre pléthorique que les institutions peinent à réguler. Les outils numériques rendent encore plus floues les limites entre vie privée et vie professionnelle, provoquent une accélération généralisée des échanges sans que des règles collectives d'usage soient adoptées dans les établissements d'enseignement supérieur et de recherche. La demande pour comprendre les mécanismes et enjeux sous-jacents au numérique est croissante. Afin de développer la capacité d'analyse critique de l'information disponible sur le web par exemple, il est nécessaire de comprendre les algorithmes utilisés par les moteurs de recherche. « On ne peut comprendre le monde numérique dans sa totalité sans comprendre suffisamment ce qu'est son cœur informatique » (Berry, 2008).

3.5.2 Place du scientifique et de l'enseignant dans la société

Le statut social du scientifique et de l'enseignant dans la société change. Les chercheurs académiques et les enseignants ont longtemps été perçus comme détenteurs exclusifs du savoir scientifique. Ils sont désormais concurrencés dans de nombreux domaines par l'émergence d'experts non professionnels, qu'ils soient amateurs éclairés, praticiens ou malades détenteurs de savoirs d'expérience. Evoluant dans un environnement où d'autres acteurs font circuler, voire produisent des connaissances ou des savoirs en mobilisant les outils numériques, les enseignants sont également affectés par ces transformations dans leurs activités de formation. Ces transformations modifient le regard sur les scientifiques et les enseignants, réinterrogent ce qui fait science et bousculent l'identité professionnelle des chercheurs et des enseignants.

Une remise en cause de l'autorité scientifique du chercheur et de l'enseignant

Par le passé, le statut de chercheur et d'enseignant-chercheur bénéficiait d'une forte légitimité, et d'une forte reconnaissance sociale. Dans la première moitié du XX^{ème} siècle, le modèle du scientifique éducateur et représentant de l'Universel ou de l'objectivité était très répandu, dans un contexte où la « promotion de la science [était] identifiée au progrès moral, intellectuel et social ». Ainsi la « défense organisée de la communauté scientifique [était] assimilée à la défense de l'intérêt de la République » (Bonneuil, 2006). La spécificité du lien au savoir du savant et de l'enseignant lui donnait alors un rôle de détenteur du savoir et d'éducateur ; ces deux figures incarnaient le progrès social de la république.

Le prestige du chercheur a diminué du fait de l'affaiblissement de l'identification entre « la science » et le « progrès moral, intellectuel et social », notamment du fait de la crise de la notion de progrès mais aussi de la critique de certaines avancées scientifiques et techniques. De la même manière, le « prestige » associé à la profession d'enseignant comme « éducateur de la République » a perdu de sa valeur. L'accessibilité à de multiples savoirs scientifiques en temps réel sur l'internet, les compétences et l'agilité numérique des publics apprenants, et les progrès des technologies éducatives numériques remettent en question le rôle classique de l'enseignant, seul détenteur d'un savoir qu'il transmet.

En créant une plus grande porosité entre les pratiques non professionnelles (dites amateurs) et les sciences institutionnalisées, le numérique introduit une concurrence des autorités. Comme le soulignent Diminescu et Wieviorka (2015), ces évolutions génèrent une inquiétude parmi les professionnels dont certains « craignent notamment un appauvrissement de la rigueur scientifique propre aux professionnels de la recherche, [et une orientation vers une recherche] de moins en moins ‘gratuite’, commandée par les seuls intérêts scientifiques de ceux qui la conduisent ».

D'autres auteurs retiennent de ces considérations une autre vision de l'activité scientifique « désormais immergée dans une “agora” peuplée d'entrepreneurs, de juristes, de législateurs, de médias et de militants » (Bonneuil & Joly, 2013). Cette porosité conduirait ainsi au développement de pratiques nouvelles de recherche, qui mobilisent des chercheurs professionnels et des individus travaillant hors des cadres universitaires grâce à des outils et modes de coopération associés au numérique dans des projets collaboratifs, comme dans le domaine de l'histoire numérique (*digital history*) (Vinck & Natale, 2015).

Un brouillage des frontières entre professionnels et amateurs

L'affirmation du non expert professionnel dans la production de connaissance

La place des amateurs dans les pratiques scientifiques est très ancienne comme en témoignent les collectionneurs, les expérimentateurs et les cabinets de curiosités. La contribution des amateurs est reconnue dans les disciplines anciennes et les sciences de terrain, en particulier naturelles (Charvolin, 2007). Les usages du numérique réactivent cette relation.

Le numérique a joué un rôle décisif dans la diversification des formes de participation des non professionnels à la production de connaissances et à l'innovation. Les premiers groupes de discussion apparus sur l'Arpanet – premier réseau de communication entre ordinateurs au début des années 70 – puis sur internet concernaient essentiellement les chercheurs et abordaient des problèmes techniques et des sujets culturels. Ces premiers groupes de discussion entre chercheurs abordaient des problèmes techniques et des sujets culturels. C'est ainsi que se sont développées des communautés centrées sur la culture hackers et sur les logiciels libres à code source ouvert. Par la suite, d'autres collectifs dépassant le seul cadre de la communauté scientifique se sont organisés autour d'objectifs de création et de production de connaissances ouvertes. On peut citer ici les communautés créatives à l'origine du kitesurf ou de l'imprimante 3D Reprap, mais aussi de l'encyclopédie en ligne Wikipédia ou le réseau de botanistes francophones Tela Botanica.

Internet permet également aux non-professionnels de contribuer à des forums de discussion. Ce sont par exemple des malades qui échangent sur leurs savoirs d'expérience et tentent de les articuler avec les connaissances scientifiques. Grâce à ces forums, les malades s'organisent pour mettre en politique un problème de santé ou faire reconnaître une maladie méconnue (Méadel & Akrich, 2010). Internet transforme ainsi les manières de produire des connaissances et contribue à élargir le cercle restreint des experts non professionnels :

« les projets récents visant la création de très grandes bases de données, de même que la multiplication des plateformes en ligne de sciences participatives, contribuent à donner une nouvelle visibilité à la contribution des amateurs à

l'activité scientifique, tout en offrant de nouvelles possibilités de participation » (Heaton *et al.*, 2016).

L'émergence des communautés en ligne

A propos de l'encyclopédie en ligne Wikipédia, Auray a montré que le rapport au savoir a été profondément modifié, remettant en cause l'autorité des experts professionnels et multipliant les forums d'échanges entre amateurs (Auray *et al.*, 2009). A l'instar des informaticiens qui ont construit internet dès son origine, ces amateurs se sont organisés en communautés de pairs comme les chercheurs professionnels.

Depuis l'avènement du web 2.0, l'apparition de nouveaux outils techniques (blogs, plateformes de diffusion...) et surtout l'intégration de nouvelles fonctions de communication, une figure majeure de l'internaute actif est incarnée par le pro-am, le professionnel-amateur (Leadbeater & Miller, 2004). Celui-ci « est parvenu à se réapproprier des sphères de l'activité sociale traditionnellement dévolues aux professionnels telles que (...) la science ». Son émergence a remis en cause la figure de l'expert (Adenot, 2016). Examinant le cas de l'émergence de la chaîne E-penser, qui mobilise You tube et des blogs, Adenot (*ibid*) conclut son étude en affirmant que ces outils et ces communautés brouillent les frontières traditionnelles entre la figure de l'expert/scientifique et celle de l'amateur, et font apparaître un nouvel ethos de l'expertise qui :

« semble [...] ne plus s'ériger uniquement sur des critères académiques, tels que le parcours universitaire ou professionnel [et inclut les] utilisateurs [...] dans le mode de reconnaissance des compétences. »

L'expertise n'est alors plus seulement basée sur l'appréciation et le jugement des pairs mais aussi sur l'évaluation des utilisateurs des connaissances.

L'émergence des algorithmes et des intelligences artificielles dans la relation enseignant-apprenant

Avec le développement des technologies numériques, certains savoirs ou contenus sont détachés de l'enseignant qui les a produits et accessibles à distance, la relation maître-élève s'en trouve radicalement transformée (Dioni, 2008).

« On s'accorde aujourd'hui à dire que le changement le plus important ne provient pas de l'interaction élève-machine mais des capacités de la machine à modifier l'organisation sociale et, par là même, à modifier l'importance accordée aux rôles de l'élève et de l'enseignant, l'organisation curriculaire, la nature des interactions maître-élèves dans le traitement de l'information et l'évaluation des apprentissages » (*ibid.*).

Ainsi, l'irruption du numérique ajoute, à l'acte d'enseigner, la nécessité de construire une capacité d'accompagnement des apprentissages.

Certains, s'appuyant sur la généralisation d'une offre de MOOC, évoquent l'hypothèse disruptive d'une platformisation de l'enseignement et de la formation qui pourrait conduire, à terme, à une marchandisation des savoirs à travers une « *convergence entre les industries éducatives et les industries culturelles* » (Bullich 2018).

3.5.3 Circulation des enjeux éthiques entre l'ESR et la société

Un poids croissant des citoyens dans les débats éthiques et les choix scientifiques et techniques, facilité par le numérique

Outre la participation des amateurs dans la production de connaissance, on assiste désormais à une prise en compte du point de vue des citoyens dans les débats éthiques et les choix scientifiques et techniques. Des structures associatives visent « la réappropriation citoyenne et démocratique de la science afin de la mettre au service du bien commun » (Sciences Citoyennes) et à développer et faciliter les coopérations entre la société civile et l'ESR (ALLISS, 2017). Ces collectifs utilisent internet pour atteindre un public large, diffuser leurs idées et atteignent parfois un poids politique non négligeable.

Les citoyens ne se contentent plus d'intervenir dans les débats scientifiques, ils souhaitent prendre une part active dans la recherche. C'est dans ce contexte que les sciences participatives se sont développées en France depuis les années 1990. En lien avec le développement du numérique et des données massives, elles se sont diversifiées et ont explosé depuis les années 2000 (Houllier & Merilhou-Goudard, 2016). On assiste à présent à leur institutionnalisation, avec la signature de la charte française des sciences et recherches participatives en 2017, dans laquelle les principes éthiques, déontologiques et d'intégrité scientifique tiennent une place importante (Collectif, 2017).

Si le numérique peut faciliter les interactions entre l'ESR et la société, les réseaux sociaux engendrent également une polarisation des communautés. Ainsi, pour certains auteurs, les réseaux sociaux ouvriraient une nouvelle ère de l'information, marquée par de forts clivages de l'opinion.

Une plus grande prise en compte des enjeux éthiques par les chercheurs et les enseignants

Après mai 1968, le chercheur public questionne son rôle social. Il devient un « savant engagé » puis un « chercheur responsable » qui propose son expertise non seulement à des institutions mais aussi à des groupements de citoyens pour éclairer les choix scientifiques et techniques (Rouvroy, 2016). Dans les années 1990, avec le reflux global des mobilisations et de l'engagement, le « chercheur responsable » est progressivement remplacé par le « lanceur d'alerte » (Maison des journalistes, 2018). La numérisation et l'accessibilité des données et le développement des réseaux sociaux a facilité la dissémination d'informations sensibles et confidentielles, et les lanceurs d'alerte internautes se sont multipliés. Cela a conduit le législateur à prendre en compte leur protection (Légifrance, 2016).

L'encapacitation des individus aux enjeux éthiques a amené les chercheurs et enseignants à interroger leurs pratiques, à chercher à les légitimer et à se structurer collectivement. Ainsi, les instituts de recherche et les universités se sont dotés de comités d'éthique qui s'emparent des questions propres à leurs établissements telles que le *Gene drive* ou la responsabilité vis-à-vis des données personnelles. Des comités d'éthique en expérimentation animale sont chargés depuis 2008 d'évaluer les protocoles utilisant des animaux à des fins de recherche avant leur mise en œuvre. Depuis 2016, la formation des doctorants doit obligatoirement comprendre un module sur l'éthique de la recherche et l'intégrité scientifique.

3.5.4 Statut juridique des données et des contenus

Un contexte favorable à l'ouverture

Le partage et la visibilité sont des principes essentiels dans la recherche et l'enseignement. En 2002, l'initiative de Budapest pour l'accès ouvert à la littérature scientifique, puis en 2007, la Déclaration de Berlin qui élargit le concept à l'ensemble de la production scientifique, affirment l'engagement de la communauté scientifique à garantir l'accès libre (mais pas obligatoirement gratuit) aux données de recherche produites en son sein. Cet engagement s'applique dans l'absolu aussi bien aux publications qu'aux données produites en amont de ces dernières, même si, historiquement, il s'est appliqué pendant plus de 10 ans aux seules publications (Déclaration de Berlin 2003 ; OCDE 2007).

D'autre part, depuis juillet 1978 (Loi 1978-753), la législation française et européenne a évolué, élargissant toujours davantage le principe de l'ouverture des données publiques : loi de 2003 sur l'ouverture des données publiques, directive européenne Inspire de 2007 visant à établir une infrastructure d'information géographique dans la Communauté européenne pour favoriser la protection de l'environnement. A l'échelle européenne, l'UE franchit un pas avec Horizon 2020, en rendant obligatoire la diffusion en libre accès de l'ensemble des productions (publications et données) issues de travaux financés dans le cadre de projets H2020, notamment au travers de sa plate-forme OpenAire dédiée aux publications. Enfin, la loi « pour une république numérique », vise à favoriser la circulation des données et du savoir et établit le principe de l'ouverture des données (Loi 2016-1321).

L'état du droit pour les données et les contenus scientifiques

La plupart des contenus scientifiques sont protégés par le régime juridique du droit d'auteur classique (Code de la propriété intellectuelle, Article L113-1 et suivants). Tous les écrits scientifiques, les conférences, les logiciels sont protégés. Pour les données, celles-ci ne sont pas protégées de manière générale car elles ne sont pas réputées avoir un auteur. Cependant, le fait de réunir et de structurer les données entre elles est protégeable juridiquement par le droit *suis generis* des bases de données, par le droit des contrats, ou par le droit d'auteur dans certaines conditions de production.

Avec le développement du web et de la diffusion de textes et désormais de données, des formes alternatives de protection se sont mises en place pour s'adapter juridiquement aux nouvelles formes de diffusion. Les licences *creative commons* (CC) sont utilisées pour les textes et documents principalement. Leur principal objectif est de diffuser et de partager des œuvres sur le web en proposant une solution alternative légale que le droit classique ne pouvait pas complètement couvrir. Les licences CC proposent donc que l'auteur soit acteur des conditions de diffusion de son œuvre sur internet.

Une nouvelle directive sur le droit d'auteur

Au niveau européen, les développements juridiques autour de la question du droit d'auteur et de la révision de la directive de 2011 concernant le droit d'auteur (directive dite *copyright*) visant à étendre le périmètre des exceptions au droit d'auteur sont importants, tant pour les droits patrimoniaux que pour le droit moral de l'auteur. Pour certains juristes, à force

d'exceptions au principe du droit d'auteur, c'est le droit d'auteur lui-même qui pourrait finir par devenir l'exception. L'objectif de cette nouvelle directive est de permettre aux créateurs de contenus de percevoir une plus grande partie des revenus générés par la diffusion de leurs productions et œuvres sur internet.

La problématique des données personnelles

Le Règlement Général pour la Protection des Données (RGPD, ou "GDPR" en anglais "General Data Protection Regulation") a été adopté par le Parlement européen le 14 avril 2016, et est en vigueur depuis le 25 mai 2018. L'objectif est de garantir à chaque personne le contrôle de ses données personnelles. Le RGPD repose sur cinq piliers : la minimisation, une durée de conservation avec le calendrier de purges numériques, la cartographie des traitements des données dans l'organisation, une obligation de sécurité et un droit des personnes renforcé. Tout traitement de données personnelles au sein des établissements devra être inscrit sur un registre interne, et maintenu à jour. Il s'agit donc d'un changement culturel majeur : on passe de la vérification de conformité *a priori*, au principe d'*accountability*, de responsabilisation avec une vérification *a posteriori* des bonnes conditions de traitement.

3.5.5 Hypothèses d'évolution à 2040 de l'éthique et des cultures numériques

A partir des analyses précédentes, quatre hypothèses d'évolution de l'éthique et des cultures numériques dans l'ESR ont été élaborées.

Un numérique pour tous

En 2040, l'ESR est resté en phase avec l'évolution de la société. Une forte coopération science-société s'est structurée incluant des groupes porteurs d'enjeux et mobilisant les technologies numériques. Organisés sur des plateformes web, les porteurs d'enjeux éthiques jouent un rôle d'alerte, et leurs actions induisent des réorientations de la recherche et de l'enseignement, en constituant des contrepouvoirs utiles au traitement d'enjeux communs.

L'adaptation proactive au numérique par l'éducation a permis de devancer les innovations numériques et d'anticiper leurs effets sur la recherche et l'enseignement. Des dispositifs de régulation publique des usages du numérique ont restauré la confiance entre les scientifiques et les acteurs sociétaux. L'ouverture des données et l'innovation ouverte se sont généralisés et les licences ouvertes ont favorisé la circulation des données et des connaissances et les interactions entre acteurs. Ainsi les frontières s'effacent entre les acteurs du monde académique et ceux de la société. Des coopérations entre chercheurs institutionnels et chercheurs amateurs s'instituent au sein de plateformes numériques de recherche. De façon similaire, le rôle de l'enseignement statutaire est reconfiguré. Centré sur des plateformes d'apprentissage en ligne, le rôle de l'enseignant consiste à accompagner des cursus de formation des apprenants et à structurer des contenus de formation adéquats à partir des ressources diverses en ligne.

Un numérique clivant dans les relations ESR-société

La méfiance de la société vis-à-vis de la sphère publique en général augmente, ce qui entraîne une perte de crédibilité envers les acteurs de l'ESR public et le monde académique en particulier. Le développement d'une intelligence artificielle de plus en plus performante pousse les citoyens à remettre en cause le rôle des enseignants et des chercheurs qu'ils ne reconnaissent plus comme des références en matière de production et de transmission de connaissance ni d'experts à consulter pour les choix scientifiques et techniques. Ils se tournent vers des acteurs émergents issus notamment du privé et du monde associatif, qui dominent les modes de communication numériques pour disséminer leurs idées et constituent de véritables contrepouvoirs. Le monde académique, qui n'a pas pris en main de façon active son acculturation aux nouveaux outils numériques, est distancé par ces nouveaux relais d'opinion et sa crédibilité baisse encore. Il ouvre ses données mais elles sont rares du fait de la faiblesse de l'État et ses capacités financières à capter d'autres données sont faibles. Il cohabite avec une donnée ouverte maîtrisée par des GAFAs très puissants, non contraints, qui préconisent l'ouverture des données de la part de l'ensemble des acteurs, jouissent des données publiques, du travail des bénévoles et des traces des consommateurs, mais ne communiquent pas leurs algorithmes et captent les métadonnées ouvertes pour en faire un usage commercial.

Tensions et dialogues de sourds

L'autorité scientifique du monde académique est constamment contestée sur les réseaux sociaux par différents acteurs. Par conséquent, il y a davantage de conflits, de débats, de tensions autour des sujets scientifiques à impact sociétal. Le numérique est donc source de conflits dans les relations sociales. Le monde académique défend la culture de la science ouverte, mais comme il n'y a aucun vrai dialogue entre les groupes d'opinions différentes, il entre en tension avec les défenseurs de la culture propriétaire, et les deux coexistent sans évoluer. Le monde académique entre en compétition avec de nouveaux acteurs qui ne sont pas véritablement contraints, contrairement aux agents publics, dont ils utilisent les données. Des conflictualités sociales, économiques et politiques sont générées par le numérique dans tous les secteurs.

Régulation et usages raisonnés du numérique

Le temps de l'usage non maîtrisé et non régulé du numérique est terminé. L'intensification de la rareté des ressources nécessaires au fonctionnement et à la production des outils numériques conduit l'État à réguler les usages du numérique. Seuls certains secteurs peuvent utiliser sans restriction les outils numériques. Après une phase de contestation, la société a intégré le fait que pour poursuivre quelques activités numériques, elle devait développer des usages raisonnés.

3.6. Contexte : société, économie et politique

Mélanie Gerphagnon, Caroline Martin, Marco Barzman, Fabrice Phung

La transition numérique est d'abord une transformation sociétale. Elle modifie les relations sociales, le travail et le rapport au temps et à l'espace, les activités économiques, ainsi que la prise en compte de l'environnement. La gouvernance est elle aussi impactée, car les usages du numérique ont des répercussions sur l'organisation politique. C'est ce contexte général de la transition numérique dans la société qui est traité dans cette section.

3.6.1 Sensibilisation aux défis environnementaux

Depuis les années 1990, le mouvement environnementaliste se renforce. Le changement global est désormais connu, visible et ressenti par tous : augmentation de la fréquence des événements climatiques extrêmes, chute avérée de la biodiversité, hausse du niveau de la mer, pollution de l'air et de l'eau... La lutte contre le changement climatique arrive en tête des attentes de la société française vis-à-vis de l'Etat (Repère, 2015). La transition écologique et la période clef que nous traversons ne peuvent être traitées indépendamment des transformations sociétales en cours, parmi lesquelles la transition numérique occupe sans doute une place centrale.

La transition numérique est souvent associée à la transition écologique. Les discours sur le numérique portent une promesse d'optimisation ou de réduction de l'utilisation des ressources dans tous les secteurs : agriculture (*smart farming*), économie (e-commerce), transport (*smart transport*), énergie (*smart grids*). Pourtant, le numérique consomme d'importantes quantités d'énergie et de ressources naturelles telles que les terres et métaux rares (lithium, indium, cobalt) eux-mêmes nécessaires à la production d'énergies renouvelables.

Bien que le numérique constitue un levier pour s'adapter au changement climatique (eg. le paradigme *l'IT for Green*), son interaction directe avec la transition écologique est pour le moment peu prise en compte dans l'élaboration des politiques publiques internationales (Lean ICT, 2018). Les technologies numériques sont envisagées comme une façon de réduire les impacts de l'activité humaine sur l'environnement. Elles pourraient réduire les déplacements, le gaspillage de papier et de temps, augmenter la collaboration et le partage, et faciliter la mise en place de réseaux d'énergie intelligents, d'un monitoring permanent de l'environnement, ou d'une agriculture de précision... Cependant, l'impact du numérique sur les écosystèmes et les populations est conséquent. Par exemple, la fabrication annuelle de smartphone utilise ~9000 T de cobalt, soit environ 10% de la production totale de ce métal (Lean ICT, 2018). Par ailleurs certains métaux indispensables à la fabrication des outils numériques le sont également pour la fabrication d'équipements nécessaires à la production d'énergie renouvelable (éolienne, panneaux solaires), c'est le cas de l'indium, du cobalt, ou encore du manganèse (Banque Mondiale, 2017). La plupart de ces métaux se raréfient (Halloy, 2018). La situation est d'autant plus préoccupante que le taux de recyclage des métaux est à l'heure actuelle inférieur à 1% (Lean ICT, 2018). Par ailleurs, le bilan carbone du secteur du numérique est en croissance forte. Ces émissions sont générées par les *data centers* (25%), les infrastructures de réseau (28%) et les équipements des consommateurs (47 %) (ADEME, 2016).

Il y a donc un antagonisme possible entre deux transitions importantes : la transition numérique et la transition écologique - alors que toutes les deux devraient être mises en place, pensées et élaborées de manière complémentaire. A l'avenir, le secteur du numérique pourrait être contraint d'évoluer vers des technologies et des usages plus sobres en énergie et en ressources.

3.6.2 Le numérique dans la société

Les impacts du numérique dans la société ne sont pas encore clairs, car nous n'avons que peu de recul sur ces transformations. Si ses nombreux bénéfices expliquent son succès actuel, d'autres conséquences sont plus problématiques : l'infobésité, une réduction de l'attention, une sur-intensification du travail, une transformation des liens sociaux et du rapport au temps. La sphère privée est autant impactée par les transformations sociétales apportées par le numérique que la sphère professionnelle, et la définition même des contours de ces sphères s'efface avec les usages du numérique. La transition numérique est aussi marquée par une inégalité dans les usages de ces outils. Les différentes populations selon leur origine géographique ou sociale n'ont pas forcément le même accès au numérique. Les usages du numérique ne sont pas encore bien compris. L'esprit critique vis-à-vis des outils et des usages du numérique pourrait devenir une compétence indispensable. L'avenir du rôle attribué au numérique dans la société est donc encore incertain.

Accès au numérique

Alors qu'en 2004, seuls 30,5% des ménages étaient munis de connexion internet, ils étaient 78% en 2014. Cependant, des différences générationnelles, territoriales et entre classes sociales existent, bien que depuis 2011 elles diminuent. Par exemple, une étude INSEE rapporte que les écarts de connexions à internet entre communes rurales et agglomération parisienne sont passés d'environ 40% en 2004 à seulement 13% en 2011. De plus, les différences entre classes sociales marquées au début de la décennie sont elles aussi en train d'être résorbées. En effet, les classes populaires ont en grande partie rattrapé leur retard de connexion à internet, avec un taux désormais proche de celui des classes moyennes et supérieures : entre 2006 et 2017, en France, la proportion d'employés ayant une connexion internet à domicile est passée de 51 % à 93 %, celle des ouvriers de 38 à 83 % (CREDOC, 2017). Cependant, l'accès au numérique ne se réduit pas à la connectivité internet : il demeure des différences d'usage et de capacité d'usage. En effet, les niveaux d'étude et de revenus, restent des facteurs déterminants d'inégalités face au numérique. En 2017, en moyenne 40% des personnes ayant des bas revenus et 74% des personnes non diplômées ne s'estiment pas compétentes pour utiliser un ordinateur (Rapport Marsouin, 2017). De nombreuses actions sont donc requises pour encapaciter l'ensemble de la population française et permettre un accès à tous aux outils numériques.

Impacts du numérique sur la santé, infobésité et économie de l'attention

Les écrans – smartphones, tablettes, TV – sont désormais omniprésents dans les foyers français. Une étude menée par le CSA en 2017 sur 10 000 foyers de France métropolitaine rapporte que le nombre moyen d'écrans par foyer permettant de regarder de la vidéo s'est stabilisé autour de 5,5 depuis 2014. De nombreuses études sont menées afin d'évaluer leurs

effets sur la santé (Serre, 2012 ; Fourgous, 2012 ; Tisseron, 2013). Une revue de littérature menée par Blocquaux (2017) révèle très clairement des points de vue opposés d'experts allant d'une vision « *techno enjouée* » aux « *articles de presse anxiogènes* ». L'omniprésence des écrans dans les foyers français couplé à un accès facile à internet permettent des usages (communication, information, diffusion...) et des supports (infographie, podcast, vidéos, photos, ...) numériques multiples. Cette connexion permanente au monde permet l'accès à de très nombreuses informations en continu.

En 1993, David Shenk crée le terme "*infobesity*" pour désigner le trop plein de "masse grasse" provoqué par le bombardement d'informations en analogie à la pathologie qu'est l'obésité. Le numérique permet de démultiplier le nombre, les sources et les types d'informations auxquelles nous avons accès. L'une des conséquences de l'infobésité est que l'attention des individus est devenue une ressource rare. Cette rareté est à l'origine d'un concept formulé par Simon (1971) : l'économie de l'attention. G. Mark, chercheuse à l'université de Californie, montre que le temps d'attention moyen a diminué drastiquement au cours de la dernière décennie : en 2004, la moyenne de concentration des personnes par activité était de 3 mn, en 2012 ce temps était en moyenne de 1 mn 15s et si l'on s'intéresse aux *millennials*, nés avec les smartphones et internet, ce temps est réduit à 40 s (Mark *et al.*, 2016a).

La sphère professionnelle n'est pas exempte d'infobésité. Ce phénomène est particulièrement étudié sur les populations d'employés fortement impactées par les technologies de l'information et de la communication (TIC) telles que les cadres. Le sociologue Thierry Venin démontre le lien étroit entre TIC et stress au travail (Venin, 2013). Dans de nombreuses études, l'avalanche d'e-mails, l'injonction d'y répondre mais aussi le *multi-tasking* permis par les TIC sont désignés comme principales sources de stress (Mark *et al.*, 2008 ; Mark *et al.*, 2016 b, Felio 2013 ; Venin 2013). Par ailleurs, les TIC participent à une intensification et une densification du travail avec une course à l'urgence, une pression temporelle, l'instantanéité. Outre le coût pour la santé individuelle des employés, le stress au travail a un coût pour la société entière puisqu'une étude menée par l'INRS (l'Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles) conclut que :

« le coût social du stress (dépenses de soins, celles liées à l'absentéisme, aux cessations d'activité et aux décès prématurés) a été estimé en 2007 entre 2 et 3 milliards. » (Trontin *et al.*, 2010).

Ces coûts peuvent sans doute être revus à la hausse compte tenu de l'augmentation de l'usage des TIC au travail au cours de ces dix dernières années. Du fait des conséquences du numérique sur de très nombreux employés, la législation française a promulgué un nouveau droit, le droit à la déconnexion.

Le numérique et l'information

La désinformation, l'organisation de l'ignorance et les infox ne sont pas apparues avec le numérique. Alors que le centenaire de l'armistice a été célébré récemment, il est de circonstance de rappeler que l'expression « bourrage de crâne » est apparue à cette époque où les journaux soumis à la censure étatique et relatant des faits inexacts, ou infox, proliféraient. La même stratégie que celle utilisée par l'industrie du tabac est actuellement employée par des lobbies pour semer le doute sur l'existence du changement climatique

(Oreskes & Conway, 2016). L'apprentissage de la critique de l'information est donc désormais devenu nécessaire pour savoir dénouer le vrai du faux. Cet apprentissage est sans doute encore plus urgent dans un contexte où la réalité virtuelle et les procédés permettant de modifier la réalité (*deep fake*) progressent de manière fulgurante (Foer, 2018). En 2017, 73% des français ne font pas confiance aux informations sur les réseaux sociaux (CREDOC, 2017). Dans l'enseignement supérieur, les étudiants déclarent se référer à l'autorité de la source et à sa réputation pour valider la véracité d'une information. Cependant lors de leurs propres recherches d'information ils oublient leurs critères d'évaluation (Kim & Sin 2011). La capacité à critiquer l'information est donc indispensable dans l'usage du numérique (Sahut, 2017). Paradoxalement, le numérique facilite le lancement d'alertes, offrant ainsi aux citoyens et aux médias les données qui leur manquent pour critiquer une position officielle. En effet, cet outil permet de révéler des informations issues de fuites de grande envergure. Les « *Panama papers* » et les « *football leaks* » sont par exemple basés sur des millions de documents. Sans le support numérique, il est peu probable que de si grandes quantités de données aient pu être analysées si rapidement.

3.6.3 L'économie numérique

L'économie numérique concerne la production des biens et services supportant le processus de numérisation de l'économie. Elle englobe les activités économiques et sociales qui sont activées par des infrastructures telles que les réseaux fixes ou mobiles, les plateformes logicielles et les capteurs. Elle ne se limite pas à un secteur d'activité en particulier, son périmètre est donc difficile à cerner. Dans la statistique publique, l'économie numérique est assimilée aux technologies de l'information et de la communication (TIC), et en particulier aux secteurs producteurs. Selon l'OCDE et l'Insee, le secteur des TIC regroupe les entreprises qui produisent des biens et services supportant le processus de numérisation de l'économie, c'est-à-dire la transformation des informations utilisées ou fournies en informations numériques (informatique, télécommunications, électronique) (Lemoine, 2014).

La révolution de l'économie numérique

La contribution totale de l'économie numérique à la croissance des pays est composée d'un effet direct via l'accumulation de capital numérique, et d'un effet indirect mesuré par la diffusion du capital numérique dans le système productif. En France, le numérique représente 5,5% de la valeur ajoutée créée, et son poids dans la contribution à la croissance est plus important que celui des secteurs traditionnels. L'introduction du numérique dans l'économie se fonde sur trois piliers structurants :

- un pilier technologique, à travers les capacités de transmission et de traitement de données toujours plus massives, le développement de l'intelligence artificielle et des objets connectés..
- un pilier économique, avec l'apparition d'acteurs économiques puissants (la valeur cumulée des GAFAs est similaire à la valeur totale du CAC40) qui sont en mesure de réorganiser les chaînes de valeur et d'imposer de nouveaux modèles d'affaire.
- un pilier social, avec de nouveaux modes de sociabilité et d'action collective. Le numérique stimule les innovations d'usage et de consommation, mais appelle aussi de nouveaux modes de régulations et de gouvernance économique.

L'économie numérique influence donc tous les secteurs d'activité, elle est à l'origine de nouveaux secteurs, et a rendu l'existence d'autres secteurs dépendants de celle-ci (Lemoine *et al.*, 2011). De manière générale, la transformation numérique des secteurs économiques traditionnels et la « plateformisation » (nouvelle forme d'organisation) ont engendré plusieurs phénomènes (INRS, 2016) :

- une désintermédiation et une ré-intermédiation des chaînes de valeur, où les consommateurs deviennent des acteurs, où de nouveaux acteurs apparaissent et où la donnée devient une ressource nouvelle et centrale dans la chaîne de valeur ;
- une automatisation, avec des effets sur la productivité du travail, du capital, l'usage de l'énergie et des matières premières ;
- une dématérialisation, avec l'émergence de nouveaux canaux de communication, et des coûts de transaction en forte baisse.

L'économie numérique en France

La France a subi une forte désindustrialisation au cours des 25 dernières années, compensée en partie par une montée en puissance des services, représentant aujourd'hui 78% de l'emploi en France. Cette désindustrialisation est due au transfert de certaines unités de production vers des pays à plus faible coût de main d'œuvre, à une intensification du travail qui a mené à la réduction des effectifs, à un recours accru aux entreprises extérieures, et enfin à une forte mutation technologique. Les TIC ont modifié la relation client/fournisseur à travers une dématérialisation des échanges (automates, internet dans les banques, services postaux, assurance...). Elles ont par ailleurs permis le développement de l'e-commerce, qui, dans un contexte de mondialisation de la production, a concouru à l'augmentation des échanges et au fort développement des activités de logistique. C'est le domaine des services qui représente le plus grand poids économique des TIC (87,4%). Si l'on considère le e-commerce dans sa globalité, ce sont le commerce de détail (23,1%) et l'industrie (20,4%) qui ont les plus forts poids dans les ventes par internet (Ministère de l'économie et des finances, 2017). Ainsi, une enquête Eurostat (2016) montre que 66% des particuliers en France réalise au moins une commande en ligne en une année, valeur au-dessus de la moyenne européenne (55%), mais qui reste derrière celle reportée pour le Royaume-Uni (83%) et la Suède (76%).

La nouvelle révolution numérique de la blockchain

L'économie pourrait être complètement bouleversée et transformée par la *blockchain*⁸. Les opérations entourant les échanges – appels d'offre, validations partielles par des tiers, règlements conditionnés – pourraient être gérés automatiquement et en confiance grâce aux *smart contracts*. Pour résumer, l'économie deviendrait en partie programmable. Depuis

⁸Wikipedia 18 août 2018 : Une blockchain est une technologie de stockage et de transmission d'informations sans organe de contrôle. Il s'agit d'une base de données distribuée dont les informations envoyées par les utilisateurs et les liens internes à la base sont vérifiés et groupés à intervalles de temps réguliers en blocs, l'ensemble étant sécurisé par cryptographie, et formant ainsi une chaîne.

quelques années, un écosystème dynamique se développe progressivement, avec des startups, des cabinets de conseil et l'implication de grandes entreprises qui étudient le sujet et y dédient des ressources. La *blockchain* pourrait ainsi provoquer une véritable mutation dans la chaîne de valeur. Les plateformes numériques qui sont des systèmes centralisés ne sont pas à l'abri. Il reste néanmoins encore des obstacles pour son développement dans le commerce, car l'enregistrement des transactions va à l'encontre du secret des affaires par exemple. D'autre part, la nature même de la *blockchain* utilisée et de ses caractéristiques fondatrices (à la fois publique et décentralisée) continue de poser des difficultés importantes pour une application à grande échelle, au domaine financier par exemple (Waelbroeck, 2007 ; France Stratégie, 2018).

Les risques de la transformation numérique de l'économie

L'impact du numérique sur la fonction de production et sur la productivité pourrait amener ce secteur à capter la valeur et des marges, mais également remettre en cause l'équilibre même d'un marché (Lemoine, 2014). Enfin, le risque que la place de l'humain dans l'économie soit reléguée à une simple variable de production, au même niveau que les machines voire moins car considéré comme peu fiable, n'est pas à négliger. Un risque similaire est anticipé en lien avec le développement de l'intelligence artificielle appliqué à l'industrie (Rapport Ministère de l'Economie et des Finances, 2016).

3.6.4 Politique et acteurs du numérique

Le numérique – données, outils, usages – a acquis une importance majeure pour une grande diversité d'acteurs en tant que ressource commerciale et en tant que source de biens communs. La façon dont cette ressource est partagée entre les différents acteurs du numérique est une question politique qui impacte toute la société, et notamment la recherche et l'enseignement supérieur. La situation est nouvelle, changeante, et les rôles des différents acteurs concernés – les grands acteurs économiques, les start-ups, les citoyens et la sphère étatique – ne sont pas encore définis.

Des grands acteurs économiques du numérique...

Les grands acteurs économiques du numérique – GAFAM (Google, Amazon, Facebook, Apple, Microsoft) pour les groupes essentiellement états-unis, et BATX (Baidu, Alibaba, Tencent et Xiaomi) pour les groupes chinois – ont bénéficié d'une grande liberté qui leur a permis d'acquérir un degré important de maîtrise sur les ressources numériques et leurs usages. Ces géants du numérique poursuivent leur montée en puissance et captent un nombre croissant de fonctions auparavant prises en charge par la sphère publique. Ils sont devenus, par exemple, incontournables dans la communication d'urgence associée à la gestion des catastrophes. Ils pourraient s'impliquer dans les fonctions régaliennes de l'Etat et, à l'aide de systèmes de modélisation et d'intelligence artificielle d'aide à la décision, s'immiscer dans l'élaboration de politiques publiques – un scénario imaginé par Misuraca *et al* (2012) intitulé *Privatised Governance*.

...et des plus petits

La nature dynamique de la ressource et l'émergence accélérée de nouveaux usages favorisent également la création d'un grand nombre de petites entreprises dynamiques, les start-ups. Si elles atteignent la réussite économique, les startups fusionnent souvent avec de plus grandes entreprises. Il existe aussi une large population d'acteurs économiques qui ne sont actuellement pas reconnus. Il s'agit de la multitude de contributeurs (individuels ou collectifs) dont l'activité en ligne génère de nouvelles ressources (Moulier-Boutang, 2010 ; Casilli, 2019). Avec la montée en puissance des réseaux sociaux, l'organisation de boycotts et de campagnes d'information et la création de contre-pouvoirs, des communautés issues de la société civile pourraient se coordonner pour participer activement à la gouvernance – c'est ce type d'évolution qui est développé dans le scénario de *Self-service Governance* de Misuraca *et al.* (2012).

Le rôle de la sphère étatique

Dans ce contexte marqué par une domination globale de quelques acteurs économiques, la sphère étatique peut choisir parmi trois postures. Elle peut soit tenter d'avoir une maîtrise complète des ressources numériques, comme c'est le cas pour la République populaire de Chine, soit adopter le laisser-faire pour favoriser des entreprises déjà en position d'avantage, comme cela semble être le cas pour les Etats-Unis. Ou bien encore, elle peut adopter une voie médiane pour éviter que la puissance et les intérêts commerciaux ne priment sur les questions d'accès, neutralité, qualité, et protection des utilisateurs et contributeurs. Il s'agit là de réguler l'économie et la politique du numérique sans toutefois les contrôler (Verdier, 2018) et de faciliter une démocratie numérique. La puissance publique pourrait ainsi devenir garante d'une démocratie numérique à travers notamment un numérique inclusif et reconnaître la dimension « biens communs » aux connaissances et aux données produites grâce aux outils numériques afin d'éviter leur captation par des acteurs privés ou publics (Alix *et al.*, 2018). Il serait aussi du ressort des pouvoirs publics de réguler les plateformes privées pour qu'elles soient au service de l'intérêt général. L'adoption récente par les états européens du Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD) indique un effort allant dans le sens d'une régulation étatique. Mais pour commencer, les gouvernements doivent déjà se doter eux-mêmes des outils et savoir-faire numériques qui leur permettent de ne pas se retrouver en retard de phase face aux usages du numérique en cours dans le reste de la société (Clarke *et al.*, 2017).

Les acteurs de l'ESR

Les acteurs publics de l'enseignement supérieur et de la recherche constituent un élément important de l'innovation associée au numérique. Ils sont à la fois utilisateurs des ressources numériques et producteurs d'outils, d'infrastructures, de données et de connaissances. Il reste à voir comment évoluera leur relation vis-à-vis des autres producteurs et fournisseurs privés de ressources numériques. D'après le groupe de prospective Prosper (2019), une absence de gouvernance mondiale pourrait à terme limiter l'accès aux données et à certaines sources de connaissances nouvelles pour la recherche publique. Face à la puissance des géants du numérique, le groupe Prosper (2019) met aussi en avant l'importance pour l'ESR de disposer de compétences et de ressources numériques du meilleur niveau, de développer

des infrastructures numériques pour la recherche, et de favoriser les coopérations stratégiques plutôt que la compétition entre acteurs de la recherche.

3.6.5 Hypothèses d'évolution à 2040 du contexte

A partir des analyses précédentes, cinq hypothèses d'évolution du contexte de l'ESR en 2040 ont été élaborées.

Urgence environnementale et usages durables du numérique

Face aux enjeux stratégiques de la gestion des ressources naturelles et énergétiques, l'Etat a donné d'énormes moyens à la recherche pour trouver des solutions, et a ainsi créé un cadre pour un usage durable du numérique. Dans les années 2030-2040, on a assisté à un retour de la planification. En 2040, l'Europe est désormais indépendante, et assure sa propre souveraineté économique dans le secteur numérique (moteurs de recherche, plateformes, centres de stockage, ressources européennes). Une régulation et une coordination européenne et citoyenne des politiques numériques ont permis le développement d'un nouveau numérique, aux usages maîtrisés, non abusifs, plus positifs et respectueux de l'environnement. Ce nouveau monde numérique, est utilisé par exemple pour recréer du lien social sur l'ensemble du territoire, et ainsi former des collectifs autour d'idées ou de projets de société en rapprochant des acteurs qui n'auraient pas eu l'opportunité de se rencontrer dans la vie du fait de l'éloignement géographique ou social. Cet ensemble entraîne un renouveau de l'engagement citoyen.

Nouvelle renaissance des communautés avec un capitalisme de proximité

En 2040, les outils numériques ont permis le développement d'une économie alternative qui tente de se détacher du modèle capitaliste néo-libéral en équilibrant les enjeux économiques, sociaux et environnementaux. L'ensemble de la société civile maîtrise désormais les usages du numérique, les citoyens ont développé un esprit critique sur la façon de vérifier l'origine des informations diffusées sur le web. Cette maîtrise leur permet de s'organiser en communautés, de créer des contre-pouvoirs, et, *in fine*, de constituer un tiers secteur de la recherche qui contribue aux politiques publiques. L'usage du numérique est plus raisonné que dans les décennies passées. De plus, afin d'anticiper la raréfaction des ressources, des pans de recherche sont développés pour remplacer et recycler les terres rares, développer des technologies numériques sobres, utilisant peu d'énergie. L'ESR s'est emparé de l'urgence environnementale pour trouver des solutions durables.

Le plan GAFAM

En 2040, les GAFAM sont toutes puissantes et certaines fonctions régaliennes françaises et européennes sont entièrement gérées par les grands acteurs économiques du numérique. Les oligopoles numériques mondiaux, imposés au cours de la décennie précédente par les USA (avec les GAFAM) et actuellement par la Chine (Baidu, Alibaba), dictent leur régime économique à de nombreux secteurs d'activités et drainent l'ensemble des revenus économiques. La recherche et l'enseignement supérieur sont désormais gérés et financés directement par les GAFAM. Sans le contrepoids étatique, ce sont désormais les GAFAM qui définissent les choix stratégiques et tactiques pour répondre aux défis environnementaux et sociaux liés à la raréfaction des ressources. Par ailleurs, les grandes entreprises privées

contrôlent les données produites par les consommateurs et les citoyens : toutes les activités en ligne sont tracées, les relations analysées, les opinions politiques enregistrées par ces entreprises privées et donnent lieu à un *scoring* de chaque citoyen.

L'Etat délègue des services publics au privé

L'Etat s'appuie sur des entreprises privées du numérique pour la gestion de l'action publique et la fourniture de services. Une multitude de plateformes de service se sont développées en utilisant les technologies de blockchain. Pour autant, l'Etat et les citoyens gardent un contrôle sur les technologies numériques à travers un débat public ouvert sur les usages du numérique et le fonctionnement des algorithmes, et des lois interdisant les situations de monopole et la captation des données. Cette démocratie technique s'appuie sur une régulation du numérique mise en place à l'échelle européenne.

Frugalité numérique subie

Avant 2040, les ressources sont épuisées et les technologies numériques développées précédemment ne sont plus viables. Par manque d'anticipation, il n'existe pas de substitut et le recyclage des matériaux n'est pas efficace. La société ne peut plus développer ni même continuer ses pratiques numériques d'antan. Les pouvoirs publics mettent en place des régulations très restrictives qui restreignent fortement les usages du numérique, notamment récréatif, sans pour autant les éliminer. La réglementation permet par exemple aux citoyens d'utiliser le numérique de façon raisonnée pour former des communautés organisées et coordonnées permettant une auto gouvernance de la société civile et le développement d'une économie alternative, décroissante, qui essaye de ne pas se fonder sur le modèle classique capitaliste.

3.7. Organisation institutionnelle de l'ESR

Marco Barzman, Mélanie Gerphagnon, avec la contribution d'Evelyne Lhoste

Cette section traite de la manière dont l'organisation institutionnelle de l'ESR détermine, et est influencée par la transition numérique. Sont traités les enjeux liés à la structuration des organisations, au pilotage des institutions, au périmètre des métiers, et au modèle économique de l'ESR.

3.7.1 Structuration des organisations

La forme la plus traditionnelle d'organisation de la recherche est la coordination hiérarchique. Elle est typiquement dirigée par un « manager » et s'effectue à travers des relations verticales au sein d'un type spécifique de fonction telle que ressources humaines, comptabilité, communication, formation, enseignement, ou recherche. Elle engendre de fortes spécialisations et une gestion par « silos ».

Plus récemment, la coordination par projet est venue s'ajouter à cette organisation verticale. Elle est typiquement centralisée autour d'un « chef de projet » et favorise un fonctionnement

plus transversal autour d'un objet tel qu'un produit, un projet de recherche, la conception d'une formation ou la réalisation d'un diplôme.

Aujourd'hui, le développement du numérique favorise d'autres types d'organisation qui prennent une importance croissante (Mallard, 2011 ; Clarke *et al.*, 2017). C'est le cas du fonctionnement en réseau. Il se distingue des deux types de coordination précédents par sa situation dans la sphère informelle et par une organisation flexible et en mouvement permanent. Cette forme d'organisation est particulière aussi par son individualisation : chaque agent possède son propre réseau distinct de celui de ses collègues. Les outils numériques tels que messagerie électronique, forums, blogs, ou wikis renforcent ce fonctionnement en réseau et permettent plus de diversité et un champ d'action mondial. Cette évolution contribue à l'apparition de nouvelles formes d'organisation décentralisées et horizontales. On parle par exemple d'entreprise libérée, de sociocratie, ou de gouvernance collégiale où la prise de décision est distribuée (Harmant, 2015 ; Jakubowicz, 2016). Ces systèmes, qui peuvent par ailleurs permettre des économies en management, ambitionnent de réduire les relations verticales, afin de favoriser l'intelligence collective, l'agilité et la flexibilité.

Si le fonctionnement plus transversal et en réseau est perçu comme source d'innovation, il génère une complexité qui représente aussi un défi pour les institutions (INRA, 2016).

Sur un autre plan, l'internet et la mondialisation contribuent à exacerber la concurrence internationale entre les acteurs de l'ESR, en particulier entre les établissements d'enseignement. Les classements mondiaux des universités et l'effort de rationalisation des coûts poussent les organismes de recherche et les universités d'une même région à se regrouper localement. C'est ainsi qu'une politique de site – souvent associée à un effort de territorialisation – est mise en place. Elle vise à améliorer les classements mondiaux mais risque de créer des inégalités entre les établissements (Musselin, 2017).

En parallèle, se développent des pratiques de travail à la fois à distance et plus flexibles. Ces pratiques sont associées à l'émergence de laboratoires virtuels, d'espaces de co-working, de communautés d'apprentissage en ligne (par exemple autour de Moodle – Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment), et de plateformes de recherche collaboratives ou de prestations de services. Il reste à voir comment le regroupement géographique, censé favoriser les relations de proximité, et la flexibilité des relations numériques vont s'articuler.

3.7.2 Pilotage et stratégie des institutions

Dans un monde qui change, la façon de piloter l'ESR et les stratégies adoptées évoluent. Parmi d'autres facteurs, le numérique joue un rôle dans cette évolution. Premièrement, les nouvelles orientations des institutions peuvent déterminer la place qui est donnée au numérique dans les moyens alloués à la recherche et à l'enseignement. Deuxièmement, les nouveaux outils et usages associés au numérique peuvent influencer sur la façon de piloter la recherche et l'enseignement. Troisièmement, le numérique impacte les relations entre, d'un côté, la recherche et l'enseignement supérieur, et de l'autre, les acteurs de la société civile qui participent de plus en plus à une diversité d'activités de l'ESR, y compris à la définition de ses orientations.

Les grandes tendances, indépendamment du numérique

Depuis les années 1980, le système de recherche et d'innovation se caractérise par le développement de formes hybrides de partenariat entre recherche publique et firmes industrielles sous l'influence des politiques publiques néo-libérales (Pestre, 2003). Ses enjeux économiques sont fixés conjointement par les acteurs de la recherche académique, l'Etat et les industries. L'orientation vers une recherche académique au service de la croissance économique et de l'innovation technologique est explicite depuis l'adoption de l'agenda de Lisbonne en 2000 (Jacq, 2016 ; MESR, 2009). La politique de site a aussi pour objectifs de resserrer les liens entre le monde académique et celui des entreprises.

En France, jusqu'aux années 1990, de grands organismes dédiés à la recherche intègrent deux fonctions : celle de la programmation de la recherche et celle de sa réalisation. Plus récemment, et notamment à partir d'une série de réformes en 2005, ce système intégré tend à évoluer vers un système à fonctions séparées (Barré, 2011) tel que celui des Etats-Unis où des agences dédiées assurent la programmation et l'allocation des ressources pour des opérateurs qui sont souvent de grandes universités intégrant sur un même campus recherche et enseignement. Avec la territorialisation et la politique de site, on assiste aussi en France à un rapprochement entre les mondes de la recherche et de l'enseignement supérieur (Musselin, 2017).

La place du numérique dans l'enseignement et la recherche

La transition numérique est déjà un sujet à part entière dans la stratégie des institutions de l'ESR. Le contrat d'objectif de l'INRA, par exemple, se donne notamment comme objectif l'amélioration de sa capacité à la conduite du changement, un objectif qui passe par un « *premier chantier essentiel en programmation des moyens et gestion du changement : assurer la transition numérique* » (INRA 2018). L'incertitude réside dans l'ampleur de l'investissement dans le numérique. La capacité d'investissement de l'ESR dans les nouvelles technologies sera-t-elle suffisante au regard des moyens des grands acteurs du numérique qui constituent des compétiteurs potentiels ?

Le rôle du numérique dans les orientations et le pilotage

En déclarant que la donnée « *est désormais devenue l'or de ce siècle* », le groupe de travail de cette prospective a souligné que la maîtrise des données pouvait déterminer la capacité de pilotage de la recherche et de l'enseignement. Celle-ci pourrait se réduire si des acteurs privés venaient à posséder la majorité des données. Plus généralement, la concentration du pouvoir économique de certains grands acteurs privés du numérique, ainsi que l'ubérisation de l'enseignement et de la recherche pourraient réduire la capacité de pilotage des institutions publiques de l'ESR. L'intelligence artificielle associée au *data mining* promet d'améliorer ou d'accélérer les processus sociotechniques de la production scientifique sur la base de la prédiction de la productivité scientifique des individus. Même si le succès de ces initiatives demeure imprévisible (Clauset *et al.*, 2017), cette « *science de la science* » ambitionne d'orienter la recherche.

Le rôle de la société civile dans le pilotage

Deux tendances fondamentales de la société actuelle, évoquée précédemment, viennent faciliter l'ouverture de la recherche à la société civile : 1) les possibilités liées aux technologies numériques (réseaux sociaux et accès facilité à la connaissance), 2) le niveau croissant d'éducation et la volonté des citoyens de participer activement à la vie publique. En France, le collectif ALLISS réunit des acteurs de l'enseignement supérieur et de la recherche ainsi que des représentants des syndicats, des autorités administratives et des collectivités locales.:

L'OCDE (2017) plaide pour la consultation d'acteurs multiples dans des exercices de co-conception des programmes de recherche. Ces exercices sont facilités par les technologies numériques et complètent les ateliers et forums impliquant les parties prenantes. En 2015 le Ministère de l'éducation, de la culture et de la science et le Ministère des affaires économiques des Pays Bas se sont donnés pour objectif de centrer la science plus fortement sur les questions sociétales et sur les liens entre une diversité d'acteurs producteurs de connaissances. Ils ont ainsi mandaté une consultation de grande ampleur en vue de définir un programme de recherche national (Dutch National Research Agenda, 2016).

3.7.3 Métiers et compétences

Le numérique transforme les métiers et les compétences de l'ESR en termes de création, disparition de métiers, division des tâches, ou répartition des temps de travail du personnel de l'ESR.

Un multitasking connecté

La communication entre individus et l'acquisition, le traitement et l'échange de données sont devenus fréquents et rapides, favorisant ainsi les collaborations nationales et internationales, tout en faisant émerger de nouvelles contraintes. Cependant, l'augmentation de la part du travail consacré au management de la recherche et à la recherche de financements tendrait à reporter le travail de recherche sur les doctorants (Barrier, 2011) tout en constituant un gage d'autonomie pour des professionnels qui, à défaut, seraient menacés de devenir « des travailleurs du savoir » au sein d'organisations gérées par des administratifs « purs » (Dahan et Mangematin, 2010). La structuration en mode projet peut affaiblir les liens au sein des collectifs plus classiques (Shulz, 2006). Quoi qu'il en soit, les compétences multiples et le multitâche prennent une place croissante dans les métiers de la recherche et de l'enseignement. Dans le monde du management, la notion de compétences *T-shaped* définit un individu qui combine des compétences superficielles dans de nombreux domaines avec la connaissance approfondie d'un domaine particulier (CIPS, 2014). Ce type de combinaison de compétences pourrait devenir important dans l'ESR.

Les nouveaux collectifs d'enseignement

La chronophage de la recherche de financement et du management des équipes est ressentie encore plus fortement dans le cas des enseignants-chercheurs, qui consacrent au moins 50% de leur temps à enseigner (Taquet, 2015). En effet, ces professionnels doivent se renouveler régulièrement dans la mise en œuvre des innovations pédagogiques permises

par le numérique pour attirer le plus grand nombre d'étudiants « de qualité ». En conséquence, les établissements d'enseignement réorganisent leur fonction d'enseignement, avec l'appui d'ingénieurs pédagogiques auprès des enseignants-chercheurs. Le métier d'ingénieur pédagogique se situe au carrefour de la pédagogie, des technologies et du multimédia. Il s'agit là d'un exemple de nouveaux métiers apparus avec le numérique.

Des métiers en devenir et d'autres en voie d'extinction

Dans les disciplines concernant l'étude du vivant, l'une des révolutions liées au numérique a été l'accélération de l'acquisition de données de l'analyse -omique (gén-, transcript-, métabol). Cependant, si l'accès à ces données est désormais possible pour tous, leur exploitation demande des connaissances et compétences fines en informatique. Pour cette raison, les métiers tels que bio-informaticiens, chercheurs en sciences de la donnée, et *data analysts* sont en plein essor au détriment de métiers concernant des pratiques plus empiriques et nécessitant peu d'acquisition et d'analyse de données massives.

3.7.4 Modèle économique de l'ESR

Evolution des modes de financement de la recherche

Le financement de la recherche publique dépend essentiellement des Etats et de l'Union européenne. Le système de recherche et d'innovation s'est structuré dans une interdépendance entre l'Etat, les industries et l'économie. L'analyse des sources de financements de l'ESR montre une diminution des budgets propres des organismes de recherche, et une augmentation des financements sur projet par le biais de fonds européens, nationaux et régionaux, et dans une modeste proportion sur fonds privés.

En France, la part des dotations budgétaires de l'Etat aux organismes de recherche publique pour l'ensemble de son activité est passée de 89% en 1982 à 68% en 2014 (MENESR, 2017). Elle finance dorénavant essentiellement les infrastructures et les salaires. Le financement récurrent par l'Etat des budgets de fonctionnement conférait aux chercheurs une marge dans le choix des thématiques et dans les délais de réalisation. Aujourd'hui, les chercheurs sont plus dépendants pour leur fonctionnement et pour les infrastructures de financements par projet émanant de l'Europe de l'Etat, de l'ANR (Agence Nationale de la Recherche) et des Régions. Les budgets des Programmes Cadres de l'Union européenne dédiés à la recherche ont été multipliés par 3,5 depuis leur création, alors que ceux de l'ANR ont quant à eux été réduits de 37% depuis 2005. Ces deux modèles de financement sur projet sont très sélectifs, et certains chercheurs s'interrogent sur le bénéfice de répondre à ce genre d'appel d'offre lorsque le taux de sélection est inférieur à 20% (von Hippel & von Hippel, 2015). Quel que soit leur degré de liberté thématique, il n'en reste pas moins que ces programmes et appels d'offres ont une durée limitée avec des échéances et des objectifs précis.

3.7.5 Hypothèses d'évolution à 2040 de l'organisation institutionnelle de l'ESR

A partir des analyses précédentes, quatre hypothèses d'évolution de l'organisation institutionnelle de l'ESR ont été élaborées.

Des puissances publiques (Etat et/ou Europe) planificatrices

Les données sont devenues l'or noir du XXI^{ème} siècle. Les puissances publiques ont le monopole de la gestion des données de recherche, d'enseignement supérieur, et plus globalement, des données de l'ensemble des individus du territoire européen. Avec ces métadonnées, elles ont développé une IA (Intelligence artificielle) performante qui définit les thématiques de recherche et les formations les plus prometteuses. Il en résulte une spécialisation des métiers scientifiques où chaque individu apporte des compétences identifiées comme utiles à la recherche de demain, spécifiques et complémentaires à celles des collègues. Afin de favoriser les collaborations, l'Europe (ou des Etats) finance de nombreux échanges d'étudiants, de post-docs et de chercheurs. Ceci assure à l'Europe une excellence scientifique reconnue internationalement et permet aux chercheurs de s'intégrer dans des réseaux dynamiques pour répondre aux appels d'offres internationaux.

Une ubérisation de la recherche et de l'enseignement supérieur

En 2040, la recherche et l'enseignement supérieur sont organisés autour de plateformes financées par des partenariats public-privé et les chercheurs et enseignants-chercheurs sont désormais de véritables auto-entrepreneurs. Les métiers de la recherche et de l'enseignement supérieur ont évolué vers une spécialisation accrue. Les chercheurs ont désormais des profils spécifiques tels que « rédacteurs d'articles », « expérimentateurs », « réviseurs », « enseignants » ou « gestionnaires de projets ». Les projets que décrochent les chercheurs-autoentrepreneurs leur permettent de financer leur salaire et ceux du personnel contractuel qu'ils ont embauché. En 2040, les laboratoires ne sont plus que virtuels et à durée de vie limitée. Afin de répondre à des appels d'offre, les chercheurs s'organisent en collectifs provisoires grâce aux plateformes collaboratives financées par des partenariats public-privé. Ces dernières ont accès à l'ensemble des données personnelles et professionnelles des chercheurs, ce qui leur permet de mettre en relation des individus ayant des compétences complémentaires et en cas de succès, la plateforme se rémunère sur le budget du projet. Pour réaliser le travail de recherche, les collectifs utilisent des plateformes de prestation de services qui centralisent des ressources et fournissent les infrastructures et le matériel absents des laboratoires virtuels.

Les métropoles en concurrence

La recherche et l'enseignement supérieur publics se sont territorialisés et sont désormais organisés autour des métropoles françaises. Des pôles d'excellence, financés en grande partie par l'Etat, sont organisés autour des grandes infrastructures dites d'avenir en 2020. Ils sont en concurrence à l'international. Les institutions ont organisé une forte mobilité géographique pour redistribuer les chercheurs sur l'ensemble du territoire. Cette mobilité géographique se double d'une flexibilité disciplinaire qui est facilitée par les instituts. Les

centres de recherche et les universités des métropoles qui ne sont pas labellisés d'excellence sont gérés directement par les Régions et proposent des thématiques et enseignements liés aux enjeux territoriaux. Les stratégies de recherche s'articulent donc aux besoins du territoire. Grâce à la visibilité dont bénéficient leurs réseaux sociaux, aux relations de proximité entretenues avec les universités, et à la démocratie participative, des acteurs de la société civile peuvent contribuer à la définition des enjeux de recherche et d'enseignement.

Une recherche et un enseignement privés pilotés par l'IA

Une augmentation progressive du financement de la recherche et de l'enseignement supérieur par les entreprises a résulté, en 2040, en une privatisation totale de ces deux secteurs. Pour s'adapter, les chercheurs et enseignants-chercheurs adoptent une grande flexibilité géographique et thématique. Les laboratoires et communautés d'apprentissage virtuels se généralisent et permettent une organisation interdisciplinaire, souple et dynamique mieux adaptée aux financements de projet de courte durée. Le secteur privé, avec des moyens importants et une grande marge de manœuvre vis-à-vis de la réglementation sur les données, développe une diversité d'IA performantes permettant de piloter les systèmes de recherche et d'enseignement supérieur. Dans la recherche comme dans l'enseignement, les secteurs jugés prometteurs pour la recherche et l'innovation technologique, ainsi que les domaines de recherche finalisée sont préférentiellement financés au détriment de domaines orphelins.



4. Scénarios

Marco Barzman, Mélanie Gerphagnon, Geneviève Aubin-Houzelstein, Alain Bénard, Olivier Mora, avec les contributions du groupe travail

Les quatre scénarios présentés ici ont été construits en s'appuyant sur un tableau morphologique qui rassemble les hypothèses d'évolution des composantes présentées dans le chapitre 3. Les scénarios ont été élaborés sous la forme d'une combinaison d'hypothèses d'évolution (tableau 3) et approfondis dans des récits décrivant des avenir contrastés de l'ESR à l'horizon 2040.

4.1. Analyse morphologique du système en 2040

Les 31 hypothèses d'évolution à l'horizon 2040 des composantes présentées en détail dans le chapitre précédent ont constitué la matrice ou tableau morphologique nécessaire à l'élaboration des scénarios. Ce tableau et les quatre scénarios d'évolution sont présentés ci-dessous.

Le groupe de travail, avec l'appui de l'équipe projet, a identifié plusieurs combinaisons pertinentes et cohérentes des hypothèses d'évolution (cf. Tableau 3), qui ont permis de construire quatre scénarios contrastés :

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

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

Scénario 3 : Les écosystèmes numériques territorialisés de l'ESR

Scénario 4 : L'ESR face à la frugalité numérique

Tableau 3 : Tableau morphologique présentant les 31 hypothèses d'évolution de composantes et leur combinaison aboutissant aux quatre scénarios.

	Hypothèse d'évolution 1	Hypothèse d'évolution 2	Hypothèse d'évolution 3	Hypothèse d'évolution 4	Hypothèse d'évolution 5
Contexte : société, économie et politique	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	
Organisation institutionnelle de l'ESR	Ubérisation de la recherche et de l'enseignement supérieur	Une recherche et un enseignement privés pilotés par l'IA	Puissance publique (Etat ou Europe) planificatrice	Les métropoles en concurrence et Politiques européennes	
Pratiques de recherche	Le capitalisme numérique de la connaissance	La connaissance pour les biens communs	Les chercheurs autonomes et outillés par IA	Production de connaissances ancrée dans les territoires	
Pratiques d'enseignement et de formation	Fracture sociale et ultra-libéralisation de l'apprentissage	Une société de l'apprentissage inclusif	Planification numérique de l'enseignement	La jungle numérique de l'apprentissage	Foisonnement numérique et écosystèmes locaux de l'apprentissage
Données	La donnée surréglementée	Dévalorisation des données produites par la recherche publique	Données massives et données expertes	L'open data réussi	Tsunami de données
Interactions de l'ESR avec la société	Impuissance de l'ESR face à la puissance des réseaux	Contrôle de l'ESR par les groupes concernés et les lobbies	Coopération	Recherche agile et partenariale	ESR spécifique et fier de l'être
Ethique et culture numérique	Tensions et dialogues de sourds	Numérique pour tous	Un numérique clivant dans les relations ESR/société	Régulation et moralisation des usages	
	SC 1	SC 2	SC 3	SC 4	
	L'ESR aux pieds des géants du numérique	L'ESR et le numérique pour la préservation de la planète	Les écosystèmes numériques territorialisés de l'ESR	L'ESR face à la frugalité numérique	

Note : Les hypothèses d'évolution de composantes non surlignées en couleur n'ont pas été incluses dans les scénarios

4.2. Scénarios

Les combinaisons d'hypothèses ont été affinées et converties en récits qui explicitent les chaînes de causalité et les interdépendances entre les différentes dynamiques décrites dans les composantes à l'œuvre dans chaque scénario. Les récits des scénarios sont présentés ci-après.

4.2.1 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 orientées par les données 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 l'évaluation et la relecture sont réalisées 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 leur degré de prise en compte des enjeux éthiques 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. La fracture sociale et 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.

4.2.2 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 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 renouveau 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 critères 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 libre accès et de donnée ouverte 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 lieux, 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 aux défis globaux dans une interaction forte avec le terrain lorsque c'est pertinent. Les cours sont majoritairement dispensés en anglais 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 diplômes au sein de toute l'Union dans un contexte où les diplômes 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.

4.2.3 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 décisions. 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.

4.2.4 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 psychosociaux 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 le 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.



5. Enjeux des scénarios

Marco Barzman et Olivier Mora, avec les contributions du groupe de travail et de l'équipe projet

Ce chapitre considère les enjeux pour les établissements de recherche et d'enseignement supérieur en agronomie, environnement, alimentation et sciences vétérinaires de chacun des quatre scénarios.

Le travail présenté ici est issu d'un exercice « SWOT » – atouts et vulnérabilités des institutions, opportunités et menaces pour les institutions – mené lors d'un atelier du Groupe de travail de la prospective.

5.1. Scénario 1 – Plateformisation de la recherche et de l'enseignement, et captation des données par des firmes privées

Les enjeux posés par le scénario 1 se rapportent aux conséquences d'une dynamique de plateformisation de la recherche et de l'enseignement supérieur et au positionnement de l'ESR public face à des concurrents dotés de moyens conséquents et développant de nouveaux modèles économiques.

Atouts

Le scénario 1 envisage un rôle croissant des acteurs économiques du numérique récemment entrés dans les mondes de la recherche et de l'enseignement supérieur. Pour mémoire, dans ce scénario, les grands acteurs numériques captent les données et concentrent les capacités de traitement des données massives, absorbant une large part des activités de recherche et d'enseignement, à partir desquelles ils génèrent des services marchands. Dans ce scénario, les thématiques scientifiques à l'ordre du jour dans la recherche et dans l'enseignement supérieur changeraient rapidement en fonction de « modes » fluctuantes renforcées par la puissance massive des réseaux sociaux. Face à cette instabilité, le patrimoine scientifique de l'ESR – en termes de métiers, de savoir-faire, d'expertise, et de relations avec une diversité d'acteurs et de terrains – constitue un atout précieux. Ces ressources patrimoniales constituent également un trésor dans lequel on peut à tout moment puiser lorsqu'une nouvelle thématique émerge.

Face à ces mêmes fluctuations thématiques mues par des pressions éphémères (économiques, innovation, médias, réseaux sociaux), la capacité stratégique, de vision à long-terme et de repérage des signaux faibles (par des services de prospectives notamment) de l'ESR fait figure de contrepoids bienvenu.

Dans l'enseignement, l'adoption de méthodes d'évaluations rapides et permanentes des enseignants par les apprenants (le scoring), représente une opportunité (aussi bien qu'une menace, en fonction des postures). Le scoring peut effectivement contribuer à équilibrer la relation enseignant-apprenant et s'accompagner d'un dynamisme continu du processus d'apprentissage.

Vulnérabilité

La domination des grandes firmes du numérique dans le scénario 1 se construit autour de trois fonctions : capter des données à partir des expériences des usagers et les stocker ; traiter des données massives par l'intelligence artificielle ; générer de la connaissance, des services marchands et de l'innovation à partir du traitement des données massives. Les points forts des firmes du numérique mettent en lumière certaines vulnérabilités de l'ESR public.

Une première vulnérabilité de la recherche concerne la question de la science ouverte. En développant un modèle de la donnée ouverte sans pour autant organiser la centralisation de ses données de recherche et s'assurer une maîtrise des usages des données, la recherche pourrait faciliter une captation des données par de grands acteurs privés.

Une seconde vulnérabilité concerne la maîtrise des outils de traitement de la donnée et de la communication. Dans les domaines de l'agronomie, l'environnement, l'alimentation, et les sciences vétérinaires, ce sont le plus souvent des grandes firmes du numérique qui ont développés les outils numériques les plus performants – des outils utilisant les intelligences artificielles, l'apprentissage automatique et les réseaux de neurones. Or les chercheurs de l'ESR utilisent aujourd'hui des outils de communication, de stockage et de traitement des données mis au point par ces firmes privées. A terme cela pourrait générer des formes de dépendance à ces technologies et à leurs propriétaires.

Enfin, les firmes du numérique ont su développer des liens étroits avec les individus et les acteurs sociétaux en captant de la donnée pour générer de l'innovation et des services marchands. Au regard de cela, la recherche reste engagée dans un modèle de production de connaissance et d'innovation qui peut paraître moins réactif et moins adaptable aux demandes fluctuantes du marché.

Pour l'enseignement supérieur, une première vulnérabilité concerne l'offre limitée de formation. L'enseignement public pourrait être fortement concurrencé par une offre abondante et organisée de ressources pédagogiques en ligne de la part des plateformes privées. Ces questions sont aujourd'hui en partie anticipées par la mise en place de plateformes publiques de formation. Mais on pourrait assister à une fuite des meilleurs étudiants vers le privé, qui par ses moyens et sa proximité à l'innovation et à l'emploi, pourrait bénéficier d'une plus grande attractivité.

Une seconde vulnérabilité de l'enseignement supérieur est le risque de perte de données au profit d'acteurs plus organisés. En particulier, les données d'apprentissage sont de grande

valeur pour la gestion des systèmes d'apprentissage (« Learning Management System ») et pour le fonctionnement d'intelligences artificielles (ex. des algorithmes de recommandation).

Risques et limites de la plateformes

Il existe un pendant négatif à la dynamique de plateformes. Elle pourrait conduire à la disparition rapide de thématiques de recherche et d'enseignement dans le cas où l'ESR adopterait les logiques de court-terme portées par les acteurs économiques et les réseaux sociaux. Si ces modes venaient à orienter la recherche, cela pourrait générer une perte d'expertise dans des domaines délaissés, la disparition de certaines disciplines, de la recherche exploratoire, et des capacités à répondre à des enjeux de biens communs hors des intérêts marchands. Pour l'enseignement, cela signifie une grande volatilité des thématiques de formation, une évaluation de court-terme de l'intérêt des thématiques, et la perte d'une vision d'ensemble de la formation de l'étudiant.

Un résumé des atouts et vulnérabilités des institutions, et des opportunités et menaces pour les institutions, identifiés lors de l'atelier SWOT pour ce scénario est présenté dans la figure sur la page suivante.

Atouts DE l'institution	Opportunités POUR l'institution	Vulnérabilités DE l'institution	Menaces POUR l'institution
Enjeux communs à l'enseignement supérieur et à la recherche			
Patrimoine accumulé sur des thématiques, métiers, savoir-faire, expertise et relations avec acteurs et terrain / face aux nouveaux entrants économiques		Manque de moyens (effectifs, rémunérations, outils, infrastructures) / face aux acteurs économiques géants Degré de réactivité insuffisant / face à l'accélération	
Vision de long terme et capacité de repérage des signaux faibles / face aux phénomènes de modes		Perte du patrimoine et de l'expertise dans des domaines délaissés / face aux phénomènes de modes Dépendance vis-à-vis d'un partenaire privé instable	
Enjeux spécifiques pour l'enseignement supérieur			
Patrimoine et ressources permettant d'être prêt pour la mode suivante		Concurrence avec une offre en ligne surabondante	
Thématiques enrichissantes, riches de sens, ou de niches spécialisées / face aux motivations économiques de masse		Perte d'attractivité et fuite des meilleurs étudiants vers le privé	
Liberté et agilité des enseignants / face aux enseignants liés aux acteurs privés		Manque de souveraineté sur les données d'apprentissages et captation par le privé	
Dynamisme provoqué par le <i>scoring</i>		Effets négatifs du <i>scoring</i> (démagogie)	
		Non maîtrise de la programmation des parcours d'apprentissage Perte de la capacité à problématiser les questions de recherche (focus court-terme)	
Enjeux spécifiques pour la recherche			
Capacité de préservation du patrimoine de recherche conférant une capacité d'adaptation		Manque de centralisation des données de la recherche	
Recherche exploratoire / face au court-termisme des concurrents du privé		Perte de la main sur la programmation de la recherche	
Autonomie des chercheurs du public / face à des chercheurs du privé		Diminution de la recherche exploratoire / face à la demande de résultats rapides	
Degré élevé de reconnaissance de l'ESR propice à une éventuelle fonction de labellisation		Liens avec le privé créant des conflits d'intérêts et réduisant la légitimité	

Figure 5 – Enjeux associés au scénario 1 - L'ESR aux pieds des géants du numérique

5.2. Scénario 2 – Enjeux environnementaux globaux et internationalisation de la recherche et de l’enseignement supérieur

Les enjeux posés par le scénario 2 concernent la capacité de l'ESR à mobiliser la transition numérique pour répondre aux grands enjeux globaux et à l'urgence environnementale. Ils concernent sa capacité à fonctionner aux échelles européenne et internationale, sa performance sur des thématiques liées au futur de la planète et appréhendées de façon systémique, sa gestion des attentes fortes des responsables politiques, et son aptitude à mobiliser les ressources numériques pour atteindre ces objectifs.

Atouts

L'action internationale est déjà inscrite parmi les objectifs de la plupart des établissements publics français. Le renforcement des liens existants en Europe et au-delà est en cours. La recherche bénéficie d'un bon niveau de reconnaissance académique sur la scène internationale et d'une bonne insertion dans les réseaux internationaux (communautés scientifiques spécifiques, participation à des arènes internationales), en particulier à l'échelle européenne (participation à ou coordination de projets et de réseaux européens).

Les technologies du numérique dans ce scénario contribuent à développer des solutions aux problèmes environnementaux globaux. Elles doivent pleinement se déployer pour couvrir tous les secteurs, tous les acteurs, et toute la planète. Le défi est de favoriser la généralisation des compétences en sciences de la donnée appliquées à des thématiques environnementales par des approches pluridisciplinaire et internationales. Des stratégies de mutualisation des outils et des infrastructures numériques sont déjà engagées. Le développement d'une science ouverte qui participe à ce partage des données et des outils de traitement à l'échelle européenne est en cours.

Concernant les thématiques, la recherche semble bien placée pour répondre aux enjeux du changement global, combinant avec des approches territorialisées et des approches globales, des approches disciplinaires et systémiques, des recherches appliquées et fondamentales. On imagine aussi qu'une meilleure compréhension et gestion des biens communs prenne une place importante dans une recherche dont la finalité va au-delà des intérêts marchands.

L'enseignement supérieur français bénéficie déjà d'un positionnement européen fort, de liens internationaux bien établis, et d'une capacité à recruter des étudiants venus d'autres pays, renforcée par le déploiement en cours d'outils numériques (plateformes de recrutement, plateformes d'enseignement à distance, par exemple). Des politiques européennes favorisent des initiatives de coopération internationale dans l'enseignement supérieur où des étudiants originaires de différents pays travaillent ensemble sur des thématiques communes, en particulier via des outils collaboratifs en ligne. Il en va de même pour les thématiques d'enseignement pertinentes pour l'avenir de la planète. Ces thématiques gravitent autour des sciences de l'environnement, un domaine déjà bien développé dans l'enseignement supérieur.

Vulnérabilités

L'un des enjeux majeurs d'une telle évolution est la capacité de l'ESR à rapidement répondre aux politiques publiques et à contribuer efficacement à l'effort de préservation de la planète. La situation d'urgence, notamment climatique et environnementale, va générer des attentes fortes de la société vis-à-vis de la recherche. Ainsi un challenge pour la recherche sera de construire des dispositifs plus explicitement orientés vers l'action et l'innovation pour fournir des solutions qui pourraient être rapidement implémentées.

Une collaboration internationale efficace suppose le partage des données à l'échelle européenne et une forte interopérabilité des données. Or les mécanismes internationaux de partage et de gestion des données efficaces dans certains domaines comme l'agronomie ne sont pas en place.

L'internationalisation de l'enseignement supérieur suppose l'usage de l'anglais dans l'apprentissage. Il faudra alors assurer un niveau de maîtrise de la langue des apprenants et des enseignants suffisant dans un contexte international.

D'autres formes de vulnérabilité de cette évolution concernent les relations entre Etats. La volonté d'une gestion des biens communs à une échelle globale peut être l'objet de tensions géopolitiques. L'orientation de l'Europe priorisant l'environnement pourrait se heurter dans la réalité avec d'autres priorités stratégiques portées par exemple par les USA et la Chine. Enfin, l'instabilité de la situation de l'Union européenne et la dépendance de la recherche vis-à-vis de l'Europe crée une vulnérabilité liée à la pérennité des politiques et des financements européens.

Un résumé des atouts et vulnérabilités des institutions, et des opportunités et menaces pour les institutions, identifiés lors de l'atelier SWOT pour ce scénario est présenté dans la figure sur la page suivante.

Atouts DE l'institution	Opportunités POUR l'institution	Vulnérabilités DE l'institution	Menaces POUR l'institution
Enjeux communs à l'enseignement supérieur et à la recherche			
Bon positionnement actuel en Europe propice au fonctionnement international		Faible capacité de réponse rapide, polyvalente, proche de l'action, à impact visible / face à des politiques publiques dans un climat d'urgence	
Fort développement actuel de thématiques environnementales en forte demande			
Enjeux spécifiques à l'enseignement supérieur			
Bonne capacité de recrutement d'étudiants européens et bon positionnement international		Faible appui technique au numérique / face à des besoins conséquents	
Enseignement actuel de thématiques environnementales en forte demande		Faible niveau d'enseignement de l'anglais / dans un contexte très international	
Bon niveau de formation des techniciens pour une diffusion plus rapide et extensive des savoirs / dans un climat d'urgence et de forte demande d'impact		Concurrence entre Ecoles dans un cadre européen	
		Distance vis-à-vis des acteurs locaux / dans un cadre international	
Enjeux spécifiques à la recherche			
Recherche européenne actuelle bien développée		Stabilité de l'Union européenne incertaine / dans un contexte de recherche européenne	
Relations historiquement fortes avec les acteurs agricoles / dans un contexte où le lien à l'action est une attente forte		Partage international des données pas encore au point	
Développement actuel de la science ouverte		Manque d'adaptation aux attentes de la société dans un cadre top-down	
Nouvelles recherches sur biens communs		Réponse inadéquate / face à des attentes de court-terme et de résultats très visibles	
Renforcement d'une mutualisation européenne des moyens		Tensions avec les recherches de Chine et des USA	
Nouvelles recherches fondamentales pour la préservation de la planète		Faible adhésion aux thématiques planétaires hors Europe	

Figure 6 – Enjeux associés au scénario 2 - L'ESR et le numérique pour la préservation de la planète

5.3. Scénario 3 – Ancrage territorial de l'ESR et organisation multi-acteurs

Les enjeux posés par le scénario 3 concernent la capacité de l'ESR à mobiliser la transition numérique pour travailler avec une diversité d'acteurs, fonctionner de façon décentralisée et renforcer son ancrage territorial.

Atouts et opportunités

La présence physique d'établissements d'enseignement supérieur et de centres de recherche relativement bien répartis sur l'ensemble du territoire national représente un atout dans ce scénario. Un certain nombre de structures actuelles de l'ESR, en particulier les écoles supérieures d'agronomie ou vétérinaires et les centres de recherche, sont déjà implantés en régions. La localisation de ces institutions, les collaborations existantes entre les structures de recherche et d'enseignement, ainsi que les relations avec certains acteurs économiques du territoire préfigurent une dynamique de territorialisation de l'ESR. La mise en place de plateformes territoriales et la conception de ce que pourraient être des écosystèmes numériques territorialisés de l'ESR pourraient renforcer cette évolution.

En ce qui concerne la recherche, un ancrage dans les territoires et en étroite collaboration avec des acteurs économiques locaux constitue une opportunité pour intensifier les interactions avec les autres secteurs et renforcer la place de la recherche dans les processus d'innovation. Les sciences participatives et les sciences ouvertes sont essentielles à une telle dynamique. Dans l'éventail complet de ses possibilités, comprenant la participation à l'orientation de la recherche, à sa conduite ou à sa communication, la recherche publique s'est déjà positionnée en faveur d'une telle évolution.

Si une forte territorialisation de la recherche venait à voir le jour, la recherche serait mise au défi de traiter des problématiques qui impliqueraient de multiples disciplines et qui concerneraient une diversité d'acteurs. Une des compétences de base pour accomplir ce type de travail est la transdisciplinarité, c'est-à-dire la capacité à conduire des recherches prenant en compte une diversité d'intérêts et de points de vue sur des objets complexes. Ce type de compétence serait à développer. L'accès à des données massives et de nouveaux croisements de bases de données dorénavant possibles pourraient ouvrir de nouvelles perspectives en transdisciplinarité pour la compréhension et le développement des territoires.

L'enseignement supérieur dans les domaines qui nous concernent semble bien positionné pour répondre aux dynamiques décrites dans ce scénario. En effet les thématiques de formation sont fréquemment en lien avec les enjeux du territoire et les interactions avec les acteurs du territoire sont un élément important des pratiques de formation. Avec une territorialisation accrue de l'enseignement supérieur, les liens avec les acteurs professionnels, associatifs et économiques du territoire pourraient être renforcés. Le recentrage de l'enseignement supérieur sur des thématiques hautement pertinentes sur le territoire pourrait augmenter son attractivité vis-à-vis des apprenants locaux.

Vulnérabilités

Si un certain nombre de structures actuelles de l'ESR se situent physiquement en régions, leur organisation est toutefois majoritairement nationale. L'adoption de stratégies, l'attribution de diplômes, l'allocation des ressources, restent centralisées. Un ancrage territorial et des collaborations locales efficaces appellent donc à une décentralisation des institutions leur donnant une plus grande capacité à répondre à des demandes territoriales. Dans un tel schéma, la pertinence et le rôle d'un niveau organisationnel national se posent.

Face à des trajectoires territoriales fortement différenciées, des inégalités entre territoires pourraient émerger. Notamment, tous les territoires n'auront pas la même capacité à valoriser les données territoriales – un enjeu devenu important. Pour éviter la compétition entre territoires et les redondances, des mécanismes favorisant la collaboration et la mise en réseau des territoires seront nécessaires.

Pour réaliser l'équilibre entre une recherche au sein de territoires et sa mise en réseau entre territoires, l'interopérabilité des données est essentielle. Il faudra s'assurer dès lors que la relative indépendance des initiatives de recherche dans les territoires ne se fait pas en silo et au détriment de la valorisation des recherches au-delà de chaque territoire.

La spécialisation de chaque territoire implique une vulnérabilité intrinsèque évidente pour l'enseignement supérieur. Si les contenus de l'enseignement sont uniquement déterminés par les besoins immédiats du territoire, les compétences acquises risquent d'être très spécialisées, et peu robustes et adaptables aux besoins d'autres territoires ou aux besoins futurs.

La transition numérique dans le contexte d'un enseignement ancré dans les territoires tend à éloigner les méthodes d'apprentissages du schéma classique basé sur, d'un côté des enseignants et de l'autre, des apprenants. Si ce scénario n'a pas l'exclusivité d'une telle évolution, cette dernière pourra aller plus loin dans un environnement où les processus multi-acteurs sont privilégiés. L'enseignement tournera donc définitivement la page du cours classique pour s'engager dans la co-construction de l'apprentissage, aussi bien en termes de contenus que de processus (ex. classe inversée, s'appuyant sur des ressources en ligne et généralisation de l'apprentissage par projet à partir de commanditaires locaux). Le défi pour l'enseignement supérieur sera de généraliser ces nouvelles pratiques actuellement minoritaires.

Un résumé des atouts et vulnérabilités des institutions, et des opportunités et menaces pour les institutions, identifiés lors de l'atelier SWOT pour ce scénario est présenté dans la figure sur la page suivante.

Atouts DE l'institution	Opportunités POUR l'institution	Vulnérabilités DE l'institution	Menaces POUR l'institution
Enjeux communs à l'enseignement supérieur et à la recherche			
Distribution d'établissements et de centres sur toute la France		Institutions actuellement organisées au niveau national plutôt que territorial	
La collaboration actuelle entre enseignement et recherche dans les territoires est une base pour de futurs écosystèmes territorialisés		Faible capacité à répondre à des demandes territoriales	
Financements par entreprises locales		Cloisonnement thématique par territoire	
Collaborations sur des thématiques communes entre territoires éloignés		Compétition, redondances et inégalités entre territoires	
		Eclatement du niveau national	
Enjeux spécifiques à l'enseignement supérieur			
Tradition de liens avec le terrain / dans un contexte territorial		Couverture partielle des territoires à une échelle infrarégionale	
Innovation et diversification de l'enseignement grâce aux liens avec de nouveaux types d'acteurs territoriaux		Formation au numérique non généralisée	
Forte attractivité de thématiques locales pour des étudiants locaux		Manque d'expérience en co-construction de l'apprentissage	
Enjeux spécifiques à la recherche			
Les sciences participatives sont déjà amorcées		Faibles habitudes transdisciplinaires	
L'intégration plus forte de l'innovation et du transfert dans la recherche déjà en cours		L'interopérabilité ne suit pas	
Plateformes territoriales pour de nouvelles collaborations et mutualisation			

Figure 7 – Enjeux associés au scénario 3 – Les écosystèmes numériques territorialisés de L'ESR

5.4. Scénario 4 – Limitation des ressources et sobriété numérique

Les enjeux du scénario 4 concernent le développement d'un usage du numérique plus économe en énergie et en terres rares. Dans l'ESR, ils montrent l'importance d'une mutualisation des ressources numériques, notamment afin d'éviter les redondances, et la nécessité de (ré)-associer les outils numériques aux activités de laboratoire et de terrain.

Atouts et opportunités

Les évolutions vers une frugalité numérique impliquent une relation plus forte au terrain et à l'expérimentation. En ce qui concerne la partie de l'ESR tournée vers les sciences du vivant, les sciences agronomiques et les sciences vétérinaires en particulier, la proximité historique au terrain et le recours à l'expérimentation *in situ* et en laboratoire plutôt qu'*in silico* sont encore d'actualité. Pour économiser les ressources liées à l'usage du numérique, la modélisation numérique serait étroitement couplée à l'expérimentation de terrain. Plus généralement, une coopération forte entre sciences du vivant et sciences de la donnée pourrait se développer.

Le développement d'usages numériques frugaux à la fois dans la recherche, dans l'enseignement et dans les activités humaines en général constitue une opportunité d'innovation qui en est ses prémices à l'heure actuelle.

Vulnérabilités et menaces

Certaines disciplines, activités et pratiques de recherche reposent sur un usage intensif de ressources numériques. Dans un monde contraint par l'exigence de frugalité, l'actuelle redondance dans la production et le stockage de données est problématique. La recherche dans les *-omics*, la modélisation numérique, et plus généralement toutes les formes de recherches exploratoires basées sur des outils numériques tels que la fouille de données ou l'intelligence artificielle, sont fortement consommatrices de ressources numériques. Le défi est de développer de nouveaux usages et des pratiques scientifiques économes en numérique, particulièrement difficile pour l'archivage et le stockage des données.

Dans l'enseignement, certaines redondances dans la production et l'usage actuels des ressources pédagogiques sont sources d'inefficacité notamment en termes de consommation de ressources liées au numérique. Une plus grande mutualisation des ressources entre institutions de l'enseignement supérieur exigerait une réorganisation et un renouveau du fonctionnement collaboratif.

Enfin, si un marché des *data bytes* se mettait en place, ou plus généralement si l'accès aux ressources numériques devenait limité, on imagine facilement la possibilité d'une compétition et d'une fracture numérique entre les institutions de l'ESR

Un résumé des atouts et vulnérabilités des institutions, et des opportunités et menaces pour les institutions, identifiés lors de l'atelier SWOT pour ce scénario est présenté dans la figure sur la page suivante. .

Atouts DE l'institution	Opportunités POUR l'institution	Vulnérabilités DE l'institution	Menaces POUR l'institution
Enjeux communs à l'enseignement supérieur et à la recherche			
<p>Les sciences du vivant associées à l'expérimentation en réel et au travail en laboratoire se prêtent à la frugalité numérique</p> <p>Un couplage modélisation-terrain fort crée de nouvelles collaborations entre sciences du vivant et sciences de la donnée</p> <p>Opportunité pour donner la priorité à l'environnement, à l'usage raisonné du numérique, et à la mutualisation et à la collaboration</p> <p>Nouvelles thématiques et renouvellement des approches théoriques et conceptuelles</p>		Perte actuelle de disciplines et de connaissances non numériques en faible demande actuellement et qui s'avèrent utiles dans un contexte de frugalité numérique	La marchandisation des data bytes crée une fracture numérique entre institutions
		La frugalité numérique provoque une augmentation du temps de travail global	
Enjeux spécifiques à l'enseignement supérieur			
<i>Aucun enjeu spécifique à l'enseignement supérieur n'a été identifié pour ce scénario</i>			
Enjeux spécifiques à la recherche			
		Les OMICs et la modélisation sont actuellement fortement dépendants du numérique	Les redondances actuelles en production et stockage de données sont sources d'inefficacité vis-à-vis des ressources numériques
		La recherche exploratoire dépendante du numérique disparaît	

Figure 8 – Enjeux associés au scénario 4 - L'ESR face à la frugalité numérique



6. Enseignements des scénarios

Marco Barzman et Olivier Mora

Cette prospective offre un cadre de réflexion et d'anticipation des enjeux à venir. Elle met en lumière les défis que la transition numérique pose à la recherche et à l'enseignement dans les domaines concernés par cette prospective.

Dans ce chapitre, nous examinons dans une première partie les spécificités des domaines concernés par cette étude vis-à-vis de la transition numérique. Puis nous récapitulons dans une seconde partie, de manière transversale, les enjeux des scénarios pour la recherche et pour l'enseignement supérieur.

6.1. Les spécificités des domaines concernés

La transition numérique influe sur une multitude de facettes de nos réalités. Elle intéresse une diversité d'acteurs et nourrit de nombreuses innovations qui concernent toutes les disciplines scientifiques et tous les domaines d'application de l'enseignement supérieur et de la recherche. Il émerge cependant des interactions spécifiques entre la transition numérique et les domaines concernés par cette étude. Elles concernent l'ancrage spatial, la temporalité du vivant et des processus naturels, la complexité des objets, la dimension humaine des activités, et la relation aux intérêts économiques.

La dimension spatiale et géographique de la recherche et de l'enseignement sur la production agricole, l'élevage, les écosystèmes et la production alimentaire fait que nos domaines se prêtent à la territorialisation. Le développement d'écosystèmes numériques territorialisés – évoquée dans le scénario 3 – où l'environnement numérique serait différent d'un numérique mondialisé et standardisé fait particulièrement sens pour nos domaines. Les liens au terrain, au territoire et aux acteurs locaux, que ce soit par l'expérimentation, par l'apprentissage en situation, ou par des thématiques liées à la spécificité locale (terroirs, identité locale, agroécosystèmes) évoquent un équilibre entre un numérique local associé à la réalité de proximité 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 dans ce scénario.

Des dimensions humaines liées à la valeur culturelle de l'agriculture, la sensibilité aux questions environnementales ou au bien-être animal, et à la dimension intime de l'alimentation jouent un rôle important. Pour l'alimentation par exemple, une évolution qui nous rendrait tous capteurs et tous émetteurs de données pourrait être perçue comme portant atteinte à cette intimité. Plus généralement, les acteurs de la société civile deviennent de plus en plus réactifs vis-à-vis de l'entrée du numérique dans la sphère privée, et cherchent à réguler les usages du numérique. Par ailleurs, la qualité des relations humaines avec les acteurs de terrain ou du territoire, et notamment la construction de la confiance, ne peuvent être négligées dans ces domaines.

Les intérêts économiques associés au numérique ont une place particulière dans les domaines concernés notamment parce que des critères non économiques entrent également en jeu. Les domaines de recherche et d'enseignement sont dépendants d'outils numériques coûteux qui tendent à être développés par des acteurs du numérique dotés de moyens conséquents. Au-delà des activités marchandes liées au numérique, la recherche et l'enseignement supérieur dans ces domaines doit aussi tenir compte de l'importance stratégique de l'agro-alimentaire, du rôle croissant de la société civile non marchande dans la science, des grands défis globaux, et plus généralement de la question des biens communs.

6.2. Les enjeux des scénarios pour la recherche

Lien avec les secteurs d'application

L'adoption du numérique transforme à grande vitesse les secteurs d'activités étudiés par les sciences traitant de l'agriculture, de l'environnement, de l'alimentation et de la santé animale. L'agriculture connectée, l'agriculture de précision, l'automatisation du conseil, la robotisation, la gestion et le traitement des données dans la chaîne des soins vétérinaires, l'observation participative de la biodiversité, ou la plateformes dans les systèmes alimentaires en sont quelques exemples. Ces évolutions rapides créent un défi pour les scientifiques qui doivent maintenir leur capacité d'anticipation des changements à venir. Les questions de recherche et les démarches adoptées pour y répondre doivent évoluer en tenant compte de ces changements dans les entreprises et la société civile. Le numérique dans la recherche a par exemple un rôle important à jouer dans la conception d'innovations et dans leur promotion. Cela est particulièrement pertinent pour le développement de pratiques plus respectueuses de l'environnement en agriculture et plus généralement dans tout ce qui concerne la gestion de l'environnement et des écosystèmes.

Pourtant, s'il est clair que le numérique participe à un mouvement d'innovations dynamique dans la production agricole ou dans les soins vétérinaires, le rôle de la recherche publique devra être précisé. Dans les pratiques vétérinaires, on assiste à un nouveau flux de données

au sein de la chaîne des soins et l'apparition, tout comme dans la santé humaine, d'un système ascendant (*bottom-up*) (Avignon, 2018). On constate que les technologies innovantes qui sont associées à ces nouvelles applications vétérinaires viennent du secteur privé (via des start-ups). La demande des praticiens se dirige plutôt vers des start-ups qui ont la capacité de répondre plus rapidement et de façon plus adaptée aux besoins que la recherche publique (D. Avignon, comm. pers., septembre 2018). Par ailleurs, pour les acteurs de l'innovation dans le secteur du numérique, la recherche agronomique en tant que terrain d'application, bénéficierait d'une attractivité réduite et pourrait expliquer une impression de suivisme par rapport à l'innovation numérique. Une étude (Gondret et al, 2019) sur l'intelligence artificielle dans la recherche agronomique alerte sur le risque de « rater le train de l'IA ». D'après cette étude, « les approches reposant uniquement sur l'exploitation massive des données sont moins adaptées à l'agronomie qu'à d'autres domaines, et les approches hybrides couplant données et modèles de connaissances existantes sont plus nécessaires qu'ailleurs ». Les auteurs recommandent des partenariats avec des acteurs spécialisés en IA.

La production de données et la recherche orientée par la donnée

La production et la disponibilité de données massives créent une nouvelle situation pour la recherche. Les agriculteurs, les fournisseurs de soins vétérinaires, les entreprises de la chaîne de valeur alimentaire, et les ménages produisent dorénavant plus de données que les scientifiques. De plus, certains de ces nouveaux producteurs de données – agriculteurs, éleveurs, mangeurs innovants – sont *de facto* engagés dans l'expérimentation. La recherche n'est donc plus l'unique source de données expérimentales. En conséquence, de nombreux phénomènes peuvent dorénavant être analysés à l'aide de jeux de données massives d'origine hors-recherche. Face à cette nouvelle source de données diverses et massives, il serait judicieux de repenser la complémentarité entre production de données par la recherche et production de données hors recherche. Sur un autre plan, l'accès aux données générées par les usages, et collectées par des acteurs privés, devient problématique pour la recherche du fait de leur caractère privé. Un des enjeux actuels pour la recherche consiste à faire reconnaître les données comme des *biens communs* issus des pratiques des individus, et à créer un cadre juridique permettant aux scientifiques de les mobiliser dans leurs recherches.

Par ailleurs, la disponibilité des données massives et les nouvelles capacités de recherche associées à la fouille des données font entrevoir une recherche abductive principalement orientée par la donnée. Si cette évolution du numérique offre effectivement de nouvelles possibilités, la recherche ne doit pas, selon les mots de Marin Dacos au colloque de restitution de la prospective le 27 juin 2019, « *tomber dans une religion des données* ». Un risque identifié réside dans le développement d'une recherche où la qualité des données et leur implicite neutralité et applicabilité universelle ne serait pas questionnée et où la réflexion, la problématisation et la formulation d'une question de recherche qui initie le processus scientifique seraient négligées.

Frontières disciplinaires, inter et transdisciplinarité

Le numérique modifie les périmètres disciplinaires et favorise l'inter et la transdisciplinarité. La mise en relation et l'analyse de jeux de données auparavant cloisonnés et les liens plus resserrés entre acteurs hétérogènes – facilités par les réseaux sociaux et par l'accessibilité de l'information scientifique – en sont les moteurs. Les croisements de bases de données massives entre des domaines auparavant disjoints permettent de traiter des objets d'étude plus complexes. Cette capacité amplifiée est particulièrement pertinente dans les domaines qui concernent l'étude et la gestion du vivant et des écosystèmes. En effet, le vivant et les écosystèmes sont régis par un ensemble foisonnant d'interactions biophysiques et humaines, où interdépendances, incertitudes et controverses sont monnaie courante. Cette reconfiguration des disciplines et des modes de recherche favorisée par le numérique représente une opportunité de renouveau et une source d'innovation, qui nécessite de reconsidérer les relations entre les disciplines.

Il émerge donc un nouveau type de travail situé aux interfaces de plusieurs disciplines et de secteurs d'activités. Les compétences nécessaires à l'exercice de ce métier basé sur des recherches mêlant plusieurs disciplines (interdisciplinarité) et en collaboration avec des acteurs hétérogènes (transdisciplinarité) sont à développer. En parallèle, le rôle croissant des données associées aux outils numériques et à l'automatisation dans la chaîne de connaissances remplacent certaines fonctions traditionnelles des chercheurs et donnent une place plus grande aux chercheurs en science de la donnée.

Questions de temporalité

Le temps de l'étude de l'environnement et du vivant au sens large n'est pas le même que celui porté par le numérique. Dans les études classiques fondées sur l'observation et la compréhension du fonctionnement de l'environnement et du vivant, c'est le temps long qui s'impose. En contraste, les études basées sur les analyses de données massives ou sur la modélisation n'ont pour limites temporelles que le temps de calcul. La nature du numérique, alliée à la plateformes et à l'intensification du mode projet concourent à l'accélération des pratiques scientifiques. Il faut donc développer des usages qui permettent à ces deux temporalités des sciences de coexister.

A l'inverse, le numérique permet des observations par ailleurs irréalisables dans les domaines spécifiés. Des capteurs permettent d'acquérir des données massives à des pas de temps qu'un expérimentateur ne peut satisfaire, et à des niveaux de précisions qui ne peuvent exister sans le numérique. Ces données massives sont utiles pour modéliser le fonctionnement du vivant et ce type d'acquisition de données est particulièrement précieux pour les observatoires de la nature qui opèrent sur le long terme. Cependant l'obsolescence des instruments de mesure dépendant du numérique pose aussi un risque de perte de données ou de qualité de bases de données dans les dispositifs de recherche de type pluriannuel.

Questions éthiques

Une éthique et une déontologie doivent être construites par les acteurs de l'ESR, et avec les acteurs de la société, autour de plusieurs dimensions : les modalités de recours à l'intelligence artificielle pour assister les choix d'orientation scientifique, les règles collectives d'usage des données, 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. Les chercheurs, comme tous les utilisateurs du numérique, doivent développer un esprit critique et une capacité à analyser les mécanismes, les enjeux sous-jacents et les biais associés au numérique en ce qui concerne les algorithmes utilisés par les moteurs de recherche, la qualité des données et la supposée neutralité des données. L'utilisation massive de données personnelles, ou générées par les usages individuels, et les changements induits par la science ouverte créent également de nouveaux défis éthiques.

Relations science-société

Si le numérique change le mode de production des connaissances, il en est de même pour leur partage. Les acteurs de la société concernés par les pratiques agricoles, par leur alimentation, par le bien-être animal et par des considérations de santé publique, de préservation de l'environnement ou d'éthique ont dorénavant leurs propres canaux d'informations. Ils questionnent la science. Il revient aux scientifiques de mettre en place d'autres formes d'engagement et de dialogue avec les acteurs de la société. Plutôt que passivement constater une supposée montée de la méfiance envers la science sur les réseaux sociaux, les chercheurs peuvent profiter des technologies de la communication et de leurs nouveaux usages plus interactifs, conviviaux, ou ludiques pour s'impliquer dans le dialogue, voire la co-construction, avec les acteurs de la société civile. Ils peuvent valoriser de nouvelles formes de visualisation des résultats scientifiques intégrant l'art, les émotions et la dimension humaine dans la communication. Pour cela, des médiateurs scientifiques et des tiers-lieux facilitent des relations plus horizontales entre experts, scientifiques professionnels et non professionnels. Sur l'environnement, les pratiques agricoles, l'alimentation ou la santé animale, les contributions d'une multitude d'acteurs sont de toutes façons nécessaires pour développer des solutions. Adapter les modes de communication et d'interaction de la science aux besoins et habitudes actuels pourra non seulement répondre au risque de méfiance mais contribuera également à l'attractivité de la recherche – et de l'enseignement supérieur.

6.3. Les enjeux des scénarios pour l'enseignement supérieur

La plateforme

Les plateformes pédagogiques ont déjà commencé à se développer, elles continueront de jouer un rôle important dans l'enseignement. Les institutions publiques sont donc

confrontées à la question stratégique de devoir décider quelles relations elles souhaitent entretenir vis-à-vis de compétiteurs privés potentiels. Pour faire face à des acteurs économiques de grande taille, la création de plateformes pédagogiques publiques nationales ou européennes pourrait permettre de créer la masse critique nécessaire. Cette démarche est déjà amorcée par des initiatives telles que les MOOC de France Université Numérique ou le lancement d'une université numérique en agrobiosciences (agreen U). Un système de reconnaissance partagée et de certification des MOOC favoriserait le partage et la mutualisation des investissements dans ce type d'outil entre établissements. Par ailleurs, la demande croissante pour une formation tout au long de la vie pousse les établissements historiquement positionnés sur la formation initiale à offrir ce type de service. Les MOOC et plus généralement les parcours de formation numérique, s'ils s'avèrent économiquement intéressants, peuvent pour partie contribuer à satisfaire cette demande et orienter les établissements d'enseignement supérieur vers d'autres modalités d'apprentissage. Ils nécessitent cependant un accompagnement des apprenants par des enseignants.

La possibilité d'une entrée en compétition avec des acteurs mieux armés dans le numérique est sujet à réflexion. Elle pourrait conduire à une revalorisation du métier d'enseignant – notamment chez les enseignants-chercheurs historiquement évalués prioritairement sur le volet recherche – et à y apporter des innovations porteuses d'attractivité.

La relation virtuel-présentiel

S'il ne s'agit pas de totalement remplacer l'enseignement en présentiel par celui en virtuel, il apparaît tout de même important de clarifier les rôles, avantages et inconvénients de l'un et de l'autre. La valeur du cours magistral traditionnel est remise en question et les rôles respectifs des interactions *en présentiel* et à distance sont à définir. Il faut s'accorder sur la place à donner à l'apprentissage expérientiel (*learning by doing*) et voir si celui-ci passe obligatoirement par le présentiel. Il devient nécessaire de penser la relation virtuel-présentiel tout en notant la différence entre l'enseignement à distance asynchrone et synchrone – ce dernier permettant l'interactivité en temps réel. Les avantages de la simulation doivent être pris en compte. Elle permet – parfois à moindre coût – de réaliser une mise en situation virtuelle de l'apprenant, et par exemple d'éviter une expérimentation sur un animal réel. Le distanciel, streaming vidéo d'un cours en direct ou en différé par exemple, permet de démultiplier l'impact des enseignants et pallier le manque de personnel enseignant.

Evolution du rôle des enseignants

Comme pour les chercheurs, le numérique induit un déplacement des compétences et des rôles des enseignants. Alors que l'on s'inquiète d'un éventuel remplacement de l'humain par la machine, les scénarios présentés dans cette étude, issus de l'expertise des enseignants chercheurs et des responsables de formation, indiquent plutôt une généralisation de l'hybridité entre l'humain et les outils numériques dans les dispositifs d'enseignement et de formation. Le tout-numérique semble peu plausible. Plutôt que de les remplacer, le numérique confère de nouveaux rôles aux enseignants. La multiplication

des relations virtuelles semble s'accompagner d'une multiplication des interactions réelles et favorise les réseaux. En général, les ressources numériques et leur accessibilité éloignent les enseignants de la transmission des connaissances proprement dite et, comme indiqué dans les scénarios, les engagent vers l'accompagnement, le conseil et l'ingénierie pédagogique. Les enseignants évoluent dans un nouvel environnement professionnel où les ingénieurs pédagogiques jouent un rôle croissant. Cependant il semble nécessaire d'accompagner cette évolution où l'enseignant peut avoir l'impression de « descendre de son piédestal » et a besoin d'acquérir des compétences en accompagnement, en conseil, en pédagogie inversée et en co-construction de l'apprentissage.

6.4. En conclusion

Les quatre scénarios développés dans cet exercice de prospective 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. Cette prospective montre qu'il est important d'adopter une attitude proactive face à un phénomène qui peut, à première vue, sembler d'ordre essentiellement technologique mais qui en réalité concerne avant tout les usages et les pratiques. Dans la recherche et dans l'enseignement supérieur, comme dans tous les secteurs d'activités, la transition numérique risque de bouleverser les pratiques, les métiers et l'organisation des activités. Il s'agit donc d'anticiper ces transformations, afin de les orienter dans un sens souhaitable tout en minimisant les risques et les menaces potentielles qu'elles portent.

La transition numérique induit un déplacement des compétences et des rôles pour les chercheurs et les enseignants. Si l'idée d'un numérique assurant dans leur totalité les fonctions remplies par les enseignants et les chercheurs semble peu plausible, on assiste d'ores et déjà au développement d'un numérique qui redéfinit les rôles de chacun en offrant de nouvelles possibilités de relations, virtuelles et réelles.

Côté recherche, les outils numériques, les données massives et l'automatisation dans la chaîne de connaissances nécessitent de nouvelles compétences en science des données. 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 transdisciplinarité.

Côté enseignement, les ressources numériques et leur accessibilité éloignent les enseignants d'un rôle de transmission des connaissances proprement dit et les engagent vers l'accompagnement, le conseil et l'ingénierie pédagogique. Parmi les nouvelles possibilités, il reste à trouver le juste équilibre entre l'usage du présentiel et du distanciel dans l'apprentissage.

Les technologies de la communication ouvrent et facilitent les relations entre chercheurs et enseignants, permettant ainsi une plus forte intégration de ces deux secteurs. De même, ces technologies et leurs nouveaux usages (réseaux sociaux, diffusion rapide de l'information) rapprochent enseignants et chercheurs d'une plus grande diversité d'acteurs de l'innovation économique et de la société civile. Cependant le bon usage des outils numériques de communication dans les relations entre la recherche et les acteurs de la société reste encore à définir.. Au-delà d'une capacité de communication accrue, il y a dorénavant une attente d'une nouvelle relation entre le monde scientifique et une société civile non marchande activement partie prenante. La combinaison entre, d'une part, une intégration enseignement et recherche (particulièrement réalisable dans le domaine agronomique), et d'autre part, les sciences participatives pourrait apporter une valeur ajoutée.

Les pratiques de recherche et d'enseignement sont impactées à tous les niveaux organisationnels : institutions, collectifs scientifiques et pédagogiques, et scientifiques et techniciens individuels. Avec l'arrivée des approches orientées par les données et des sciences participatives, les modes de production et de diffusion de la connaissance évoluent fortement.

Certaines dynamiques possibles de transformation impliquent l'engagement conséquent des grands acteurs privés du numérique dans des stratégies de gestion et de traitement des données. Dans ce cas de figure, il apparaît essentiel que les institutions de l'ESR dans les domaines spécifiés précisent leur position vis-à-vis de ces nouveaux entrants et des outils et services qu'ils offrent. D'autres évolutions probables, comme la contrainte imposée sur le numérique par la limitation de l'énergie et de certaines ressources naturelles doivent être envisagées. L'affirmation de relations nouvelles vis-à-vis d'une diversité croissante d'acteurs non scientifiques, entreprises ou groupes 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, la réflexion est à poursuivre sur les infrastructures de données et de traitement des données, ainsi que sur les dispositifs de formation, qui permettront de répondre efficacement 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 pourra prendre la forme d'approfondissements spécifiques conduits par les acteurs intéressés en prenant comme point de départ les quatre scénarios développés dans cette étude prospective et en réfléchissant aux actions faisables et souhaitables au regard des risques à venir et des bénéfices attendus. Assurer le maintien de l'attractivité de et de la pertinence de l'enseignement supérieur et de la recherche publiques demandera à l'avenir un effort accru de pilotage et d'orientation de la transition numérique. Face à un environnement de plus en plus complexe, cette étude prospective est une contribution à l'anticipation des enjeux de la transition numérique, en préalable à la définition de stratégies institutionnelles.



7. Références bibliographiques

- ACTA. (2016). L'avenir du système de recherche et développement agricole français à l'horizon 2025. Etude Prospective. GIS Relance Agronomie.
- Adenot P. (2016). Les pro-am de la vulgarisation scientifique : de la co-construction de l'ethos de l'expert en régime numérique. Itinéraires. Littérature, textes, cultures, 2015 :3
- Aggeri F., Le Masson P., Branciard A., Paradeise C. et Peerbaye A. (2007). Les plates-formes technologiques dans les sciences de la vie. Revue d'économie industrielle
- Alix N., Bancel J.L., and Coriat B. (2018). Vers une république des biens communs ? Ed. Liens qui libèrent.
- Allgaier J., Dunwoody S., Brossard D., Lo Y.Y., & Peters H.P. (2013). Journalism and social media as means of observing the contexts of science. *BioScience*, 63 :284-287.
- ALLISS. (2017). Prendre au sérieux la société de la connaissance. Livre Blanc.
- Anderson C. (2008). The end of theory: the data deluge makes the scientific method obsolete. *Wired Magazine* 16.07.
- ANR. (2019). Le Comité de Pilotage Scientifique. <http://www.agence-nationale-recherche.fr/missions-et-organisation/gouvernance/le-comite-de-pilotage-scientifique/>
- ANRT. (2019) <http://www.anrt.asso.fr/fr/cifre-7843>
- Auray N. (2009). De linux à Wikipedia. Régulation dans les collectifs de travail massivement distribués. In : L'évolution des usages et des pratiques numériques, Licoppe, C. (éd.). Ed. FYP 224p.
- Azevedo R., Harley J., Trevors G., Duffy M., Feyzi-Behnagh R., Bouchet F., Landis, R. (2013). Using trace data to examine the complex roles of cognitive, metacognitive, and emotional self-regulatory processes during learning with multi-agent systems. In: *International handbook of metacognition and learning technologies* (pp. 427-449), Azevedo R., & Alevan V. (éds.). Ed. Springer 746p.
- Banque mondiale. (2017). The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future. Washington, DC: World Bank Publications, The World Bank Group
- Barré R. (2011). Programmation de la recherche : perspectives conceptuelles, institutionnelles et... actuelles. *Innovations* 36: 9-19 DOI 10.3917/inno.036.0009
- Barrier J. (2011). La science en projets : financements sur projet, autonomie professionnelle et transformations du travail des chercheurs académiques. *Sociologie du travail*, 53 : 515-536.
- Bauer MW. (2008). Paradigm Change for Science Communication : Commercial Science Needs a Critical Public. In : *Communicating Science in Social Contexts - New Models, New Practices*. Donghong et al., eds. Springer Science and Business Media B.V.
- Bensaude-Vincent B. (2013). L'opinion publique et la science. À chacun son ignorance. Ed. La Découverte 226 p.
- Berditchevskaia A, Regalado C, van Duin S. (2017). The changing face of expertise and the need for knowledge transfer. *Journal of Science Communication*, 16
- Bert J.M., Bhalla N., Bourne P. E., et al. Preprints for the life sciences. (2016). Preprints for the life sciences – The time is right for biologists to post their research findings onto preprint servers. *Science*, 352:899-901.
- Besley JC, Nisbet M. (2011). How scientists view the public, the media and the political process. *Public Understanding of Science*. DOI: 10.1177/0963662511418743
- Besse P., & Laurent, B. (2016). De Statisticien à Data Scientist. *Statistique et Enseignement*, 7 : 75-93

- Besson R. (2007). Rôle et limites des tiers-lieux dans la fabrique des villes contemporaines, *Territoire en mouvement revue de géographie et aménagement*, 34
- Blocquaux S. (2017). L'enfant au risque des pratiques numériques : vers une éducation au virtuel. *La nouvelle revue de l'adaptation et de la scolarisation*, 147-158.
- Bonneuil C. (2006). De la République des savants à la démocratie technique : conditions et transformations de l'engagement public des chercheurs. *Natures Sciences Sociétés*, 14 : 235-238.
- Bonneuil C., & Joly P.B. (2013). *Sciences, techniques et société*. Ed. La Découverte 29p.
- Borne D. (2004). Séminaire Numérique et manuels scolaires et universitaires. Direction de la technologie, 29 et 30 septembre 2004, abbaye de Fontevraud.
- Boucher F. (2018). Panorama IA pour l'éducation. Communication orale, Septembre 2018 à Paris pour la Prospective INRA/Agreenium.
- Boujaoude S., Sowwan S., Abd-El-Khalick F. (2005). The effect of using drama in science teaching on students' conceptions of the nature of science. (pp. 259-267) In : *Research and the Quality of Science Education*, K. Boersma et al. (éds.). Ed. Springer 507p.
- Bowker G.C. (2005). *Memory Practices in the Sciences*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Brainard J. (2019). A report about Plan S's potential effects on journals marks a busy week for the open-access movement. *Science*. Doi:10.1126/science.aax2515.
- Broudoux E. (2017). Autorité scientifique et épistémique à l'épreuve de la mesure des citations. *Études de communication*, 1 : 177-198.
- Brown University (2014). *Science Center's Quick Guide to Science Communication*. https://www.brown.edu/academics/science-center/sites/brown.edu/academics/science-center/files/uploads/Quick_Guide_to_Science_Communication_0.pdf
- Bullich V. (2018) La "plateformisation" de la formation. *Distances et médiations des savoirs*, 21.
- Cardon D. (2015). A quoi rêvent les algorithmes. *La République des Idées*. Ed. Seuil, 106p.
- Cardon D., Cointet, J.P., Mazières, A. (2018). La revanche des neurones. *Réseaux*, 5 : 173-220.
- Carr N.G. (2003) It doesn't matter', *Harvard Business Review*.
- Casey P.G., Hill C., Gahan C.G. (2011). *E. coli* O104: H4: social media and the characterization of an emerging pathogen. *Bioengineered bugs*, 2 : 189-193.
- Casilli A. (2019). *En attendant les robots*. Enquête sur le travail du clic. Ed. Seuil.
- Catapult Network. (2017). *Catapult Network - Fostering Innovation to Drive Economic Growth*. Full report.
- Catellin S. (2004). L'abduction : une pratique de la découverte scientifique et littéraire, *Hermès, La Revue*, 39 : 179-185.
- CESE. (2015). *La pédagogie numérique : un défi pour l'enseignement supérieur*.
- Charvolin F., Micoud A., Nyhart L. K. (2007). *Des sciences citoyennes ? : la question de l'amateur dans les sciences naturalistes*. Ed. Aube, 254p.
- Chervel A. (1988). L'histoire des disciplines scolaires. *Réflexions sur un domaine de recherche*. *Histoire de l'éducation* 38 : 59-119.
- Chesbrough H.W. (2003). The Era of Open Innovation. *MIT Sloan Management Review* 44: 35-41.
- CIPS. (2014). *T-Shaped Managers*. Chartered Institute of Purchasing and Supply.
- Clarke A, Lindquist E.A, Roy J. (2017). Understanding governance in the digital era: An agenda for public administration research in Canada. In *Canadian Public Administration* 60(4):457-475. DOI10.1111/capa.12246
- Clauset A, Larremore D.B & Sinatra R. (2017). Data-driven predictions in the science of science. *Science* 355 : 477-480.
- Comité pour la Stratégie nationale de l'enseignement supérieur. (2014). *Rapport d'étape*. 11p.

- Couture S. (2014). Sciences et bien commun : les transformations des pratiques scientifiques à l'ère du numérique. Site Ritimo.
- CREDOC. (2017). Baromètre du numérique 2017.
- Dahan A. & Mangematin, V. (2010). Recherche, ou temps perdu ? Vers une intégration des tâches administratives au métier d'enseignant-chercheur. In Annales des Mines-Gérer et comprendre 4 : 14-24.
- DARES. (2012). Les prestataires de formation continue en 2010. Dares analyses, 70p.
- DARES. (2017). La dépense nationale pour la formation professionnelle continue et l'apprentissage en 2014. 11p.
- Darling E.S., Shiffman D., Côté I.M., Drew J.A. (2013). The role of Twitter in the life cycle of a scientific publication. arXiv preprint arXiv:1305.0435.
- Davenport T. H., & Patil D. J. (2012). Data scientist. Harvard business review, 90: 70-76.
- de Menthière N., Lacroix D., Schmitt B. (2017). Des « Mégadonnées » environnementales librement accessibles : quelles conséquences pour la recherche en environnement et ses liens avec la société ? Note de proposition GT prospective AllEnvi.
- Devauchelle B. (2009). Faut-il numériser les manuels ? Veille et analyse TICE – débattre et apprendre.
- Dioni C. (2008) Métier d'élève, métier d'enseignant à l'ère numérique. edutice-00259563f.
- Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance (DEPP). (2018). L'état de l'école en 2018. 86p.
- Direction de l'information scientifique et Technique. (2015). L'édition de sciences à l'heure numérique : dynamiques en cours. Cnrs.
- Diminescu D. & Wieviorka M. (2015). Le défi numérique pour les sciences sociales. Socio. La nouvelle revue des sciences sociales, 4 : 9-17.
- Cheng D., Claessens M., Gascoigne N.R.J., Metcalfe J., Schiele B., Shi S. (2008). Introduction : Science Communication — A Multidisciplinary and Social Science. In : Communicating Science in Social Contexts - New Models, New Practices. Cheng, D., Claessens, M., Gascoigne, N.R.J., Metcalfe, J., Schiele, B., Shi, S. (éds.). Ed. Springer Science and Business Media B.V. 320p.
- Doré T. (2009). L'évolution de l'enseignement de l'agronomie à l'INA Paris-Grignon face aux changements sociétaux, scientifiques et institutionnels. POUR. 200 :112-119.
- Dufour B. (2013). Ne pas confondre Formation initiale et Formation continue : les risques. EducPros.
- Dutch National Research Agenda. (2016). From Vision for Science to Dutch National Research Agenda in 365 days. <https://wetenschapsagenda.nl/publicatie/from-vision-for-science-to-dutch-national-research-agenda-in-365-days/?lang=en>
- Else H. (2018). Radical plan to end paywalls - Top European research funders announce 'Plan S' to make all scientific works free to read. Nature, 561
- Engage2020. (2013). Tools and instruments for a better societal engagement in "Horizon 2020". <http://engage2020.eu/>
- Felio C. (2013). Pratiques communicationnelles des cadres : usage intensif des TIC et enjeux psychosociaux (Doctoral dissertation, Université Michel de Montaigne-Bordeaux III).
- Foer F. (2018). The era of fake video begins. The Atlantic, Mai 2018
- Fondation Concorde (2017). Le numérique : une révolution pour notre société, notre économie et l'avenir de notre pays ? Une étude de la Fondation Concorde et des Vendredis de la Colline.
- Fourgous J.M. (2012). Apprendre autrement à l'ère numérique. Rapport de la mission parlementaire Fourgous. 237p.
- France Stratégie. (2018). Les enjeux des blockchains, Rapport du groupe de travail présidé par Joëlle Toledano, rapporteur Lionel Janin, 150p.
- Funk C. (2017). Mixed Messages about Public Trust in Science. Issues in Science and Technology, 34 : 86-88.

- Funtowicz S.O., Ravetz J.R. (1993). Science for the post-normal age. *Futures* 25: 739-755.
- Gaillard M. (2008). Citoyens et Etablissements Publics à Caractère Scientifique et Technologique : De la diffusion d'information à l'échange participatif. Mémoire Master 2 Sciences, Art, Culture, Information et Multimédia Filière Scientifique.
- Gaind N. (2019). Huge US university cancels subscription with Elsevier - University of California and publishing giant fail to strike open-access deal. *Nature*, 567
- Galiano P. (2017). Digital Learning : les 10 grandes tendances pour la formation de demain. Cegos, le blog de la formation professionnelle et continue.
- Gangi P.M., Wasko M. (2009). Open innovation through online communities. (pp.199-213). In: King W.R. (éd.): *Knowledge management and organizational learning*. Ed. Springer, 384p.
- Gershenfeld N. (2012). How to Make Almost Anything -The Digital Fabrication Revolution. *Foreign Affairs*, 91 :6.
- Gibbons M., Limoges C., Nowotny H., Schwartzman S., Scott P., Trow M. (1994). The new production of knowledge: the dynamics of science and research in contemporary societies. Ed. London Sage Journal, 179p.
- Gondret F., Klein E., Laclau J-P., Moriceau V., Robert-Granié C. (2019) Intelligence Artificielle pour la recherche agronomique. Dossier de direction réalisé dans le cadre de l'Ecole Pratique du Management de la Recherche Agronomique (EPMRA 7), 15 p.
- Granjon F. & Magis C. (2016). Critique et humanités numériques. Pour une approche matérialiste de « l'immatériel ». *Variations. Revue internationale de théorie critique*, 19.
- Hacking I. (2002–2003). Des styles de raisonnement scientifiques—Résumé du cours. Accessed Retrieved August 29 2012 from Collège de France Website: http://www.college-de-france.fr/site/historique/ian_hacking.htm.
- Hadwin A. F., Järvelä S., Miller, M. (2011). Self-regulated, co-regulated, and socially shared regulation of learning. *Handbook of self-regulation of learning and performance*, 30: 65-84.
- Halawa S., Greene D., Mitchell J. (2014). Dropout prediction in MOOCs using learner activity features. *Proceedings of the Second European MOOC Stakeholder Summit*, 37: 58-65.
- Halley J. (2018). More than an energy issue, we have a problem of materials. 4th Science and Energy Seminar at Ecole de Physique des Houches, March 4th-9th 2018.
- Harmant O. (2015). Zappos, ou l'étrange management... sans managers. *Frenchweb.fr*. <https://www.frenchweb.fr/zappos-ou-letrange-management-sans-managers/194028>.
- Heaton L., Millerand F., Liu X., & Crespel É. (2016). Participatory science: encouraging public engagement in ONEM. *International Journal of Science Education, Part B*, 6: 1-22.
- Hoggett P. (1996). New modes of control in the public service. *Public administration*, 74: 9-32.
- Horst M. (2008). In Search of dialogue: staging science communication in consensus conferences. (pp. 259-274). In : *Communicating Science in Social Contexts - New Models, New Practices*. Cheng, D., Claessens, M., Gascoigne, N.R.J., Metcalfe, J., Schiele, B., Shi, S. (éds.). Ed. Springer Science and Business Media B.V., 320p.
- Houllier F., & Merilhou-Goudard J. B. (2016). Les sciences participatives en France. États des lieux, bonnes pratiques et recommandations, 63p. DOI : 10.15454/1.4606201248693647 E12.
- INRA. (2016). Document d'orientation #INRA2025.
- INRA. (2013). L'Inra met fin à un essai OGM en plein champ. <http://presse.inra.fr/Communiques-de-presse/Inra-essai-peupliers-OGM-dans-le-Loiret>.
- INRA. (2016). Charte portant les principes d'organisation de l'Inra.
- INRA. (2017). Contrat d'objectifs & de performance Etat > INRA 2017-2021.
- INRA. (2018). Contrat d'objectifs & de performance Etat - INRA 2017-2021.
- INRA. (2018). Les start-up et l'Inra. <http://www.inra.fr/Entreprises-Monde-agricole/Resultats-innovation-transfert/Toutes-les-actualites/Les-startup-et-l-Inra>.

- INRS. (2016). Modes et méthodes de production en France en 2040, Quelles conséquences pour la santé et la sécurité au travail ? INRS Prospective 2040, 72p.
- Institut Montaigne. (2017). Enseignement supérieur numérique : connectez-vous ! Rapport Juin 2017. 130p.
- IRSTEA. (2016). #DigitAg pour l'agriculture numérique : premier Institut de Convergence Irstea <https://www.irstea.fr/fr/toutes-les-actualites/institut/digitag-pour-lagriculture-numerique-premier-institut-de-convergence>
- Jacq A. 2016. Les nouveaux modes de pilotage de la recherche : quels effets ? : le séminaire 2014-2015 du Centre d'Alembert de l'Université Paris-Sud. *Natures Sciences Sociétés*, 24: 371-378.
- Jahng MR, Lee N. (2018). When scientists tweet for social changes: dialogic communication and collective mobilization strategies by Flint water study scientists on Twitter. *Science Communication*, 40.
- Jakubowicz L. (2016). L'entreprise libérée, révolution ou imposture ? *Le Journal du Net*.
- Joly P-B., Rip A., Callon M. (2010). Reinventing innovation. (pp. 19-32). In: *Governance of innovation*, Arentsen M., van Rossum W., Bert S. (éds.), Ed. Edward Elgar, 168p.
- Jørgensen S.E. (1992). Development of models able to account for changes in species composition. *Ecological Modelling*, 62 : 195-208.
- Jutand F. & Dartiguepeyrou C. (2013). La métamorphose numérique : vers une société de la connaissance et de la coopération, Ed. Alternatives, 224 p.
- Kelling S., Fink D., La Sorte F. A., Johnston A., Bruns, N.E., Hochachka W. M. (2015). Taking a 'Big Data' approach to data quality in a citizen science project. *Ambio*, 44: 601-611.
- Kelling S., Hochachka W. M., Fink D., Riedewald M., Caruana R., Ballard G., Hooker G. (2009). Data-intensive science: a new paradigm for biodiversity studies. *BioScience*, 59: 613-620.
- Kim K.S., & Sin S.C.J. (2011). Selecting quality sources: Bridging the gap between the perception and use of information sources. *Journal of Information Science*, 178-188.
- Kirby D.A. (2008). Hollywood Knowledge: Communication between scientific and entertainment cultures. (pp.165-180). In: *Communicating Science in Social Contexts - New Models, New Practices*. Cheng, D., Claessens, M., Gascoigne, N.R.J., Metcalfe, J., Schiele, B., Shi, S. (éds.). Ed. Springer Science and Business Media B.V., 320p.
- Kitchin R. (2014). Big Data, new epistemologies and paradigm shifts. *Big Data & Society*, 1-12
- Kohler R.E. (2002). *Landscapes and labscapes: Exploring the lab-field border in biology*. Eds University of Chicago Press.
- Konstantinidis K.T., Ramette A., & Tiedje, J.M. (2006). The bacterial species definition in the genomic era. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 361: 1929-1940.
- Le CNRS en chiffres, (2016), 28p.
- Le Galès P., & Scott A. J. (2008). Une révolution bureaucratique britannique ?. *Revue française de sociologie*, 49: 301-330
- Le Marec J., & Schiele B. (2017). Culture scientifique : participation et engagement. *The Conversation*.
- Leadbeater C., & Miller P. (2004). *The pro-am revolution: how enthusiasts are changing our society and economy*, Ed. DEMO, 70p.
- LEAN ICT 2018 The Shift Project. (2018). Ferreboeuf H, Berthuod F, Bihoux P, Fabre P, Kaplan D, Lefèvre L, Monnin A, Ridoux O, Vaija S, Vautier M, Verne X, Ducass A, Efoi-hess M, Kahraman Z. Pour une sobriété numérique.
- Legendre L., & Legendre P. (1984). *Ecologie numérique*. Collection d'écologie 12, Ed. Masson, 260p.
- Légifrance. (2007). Décret n° 2007-1470 du 15 octobre 2007 relatif à la formation professionnelle tout au long de la vie des fonctionnaires de l'Etat.

- Légifrance. (2017). Décret n° 2017-928 du 6 mai 2017 relatif à la mise en œuvre du compte personnel d'activité dans la fonction publique et à la formation professionnelle tout au long de la vie
- Légifrance. (2018). Loi n° 2018-771 du 5 septembre 2018 pour la liberté de choisir son avenir professionnel.
- Lemoine P. (2014). La nouvelle grammaire du succès : La transformation numérique de l'économie française, Rapport au gouvernement. 328p.
- Lemoine P., Lavigne B., Zajac M. (2011). L'impact de l'économie numérique. *Revue Sociétal*, 73.
- Livre Blanc de l'ESR. (2017). Ministère de l'Education Nationale, de l'enseignement Supérieur et de la Recherche.
- MacKenzie A., McNally R., Mills R., Sharples S. (2016). Post-archival genomics and the bulk logistics of DNA sequences. *BioSocieties*, 11 : 82-105.
- Maillard F. (2011). La certification professionnelle pour tous comme instrument de la flexicurité. *Éléments de réflexion sur un consensus improbable. Regards Sociologiques*, 41 : 147-158.
- Mallard A. (2011). L'encadrement face au développement des interactions en réseau. Quelques réflexions sur le travail des managers dans les organisations fortement marquées par les TIC. In Pierre-Michel Riccio et Daniel Bonnet (dir.), *TIC et innovation organisationnelle*, Journées d'étude MTO, Ed. Presses des Mines.
- Manufacturing USA. (2019). <https://www.manufacturingusa.com/>
- Mark G., Gudith D., Klocke, U. (2008). The cost of interrupted work: more speed and stress. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*, 107-110.
- Mark G., Iqbal S.T., Czerwinski M., Johns P., Sano A. (2016 a). Neurotics can't focus: An in situ study of online multitasking in the workplace. In *Proceedings of the 2016 CHI conference on human factors in computing systems*, 1739-1744.
- Mark G., Iqbal S.T., Czerwinski M., Johns P., Sano A., Lutchyn, Y. (2016 b). Email duration, batching and self-interruption: Patterns of email use on productivity and stress. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* 1717-1728.
- Méadel C., & Akrich M. (2010). Internet, tiers nébuleux de la relation patient-médecin. *Les Tribunes de la santé*, 4 : 41- 48.
- MENESR. (2017). L'état de l'Enseignement supérieur et de la Recherche n° 10.
- Merilhou-Goudard J.B. (2017). *Les Sciences participatives en France. Rapport élaboré à la demande des ministres en charge de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, sous la direction de François Houllier, Président-Directeur général de l'Inra et Président d'AllEnvi.*
- Merson M., Allen L.C., Hristov N.I. (2018). Science in the Public Eye: Leveraging Partnerships—An Introduction. *Integrative and Comparative Biology* 58 : 52-57.
- MESR (2009). *Stratégie nationale de recherche et d'innovation. Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche.*
- MESR (2009). *Stratégie nationale de recherche et d'innovation.*
- MESRI (2013). *Stratégie nationale de l'enseignement supérieur : Impact du numérique sur l'apprentissage.*
- Ministère de l'économie et des finances. (2017). *Etude économique, chiffres clés du numérique 2017.*
- Ministère de l'Education Nationale. (2017). *Les étudiants. Repères et Références statistiques 2017. 368p.*
- Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse - *Repères et références statistiques (2018)*
- Mirowski P. (2018). The future(s) of open science. *Social Studies of Science*, 48 : 171-203.
- Mohib N. (2010). Les TIC : une solution miracle pour le développement des compétences ? *Questions vives* 7 :11-15.
- Moulier-Boutang Y. (2010). *L'Abeille et l'Économiste. Ed. Carnets Nord, 254p.*

- MTES. (2008). Des modalités de formation en devenir.
- Musselin C. (2017). La grande course des universités. Ed. Presses de Sciences Po. 304p.
- Norme AFNOR X50-750. Terminologie de la formation professionnelle.
- Observatoire des Sciences et Techniques. (2018). La position scientifique de la France dans le monde 2000-2015. Hceres, Paris.
- OECD. (2017). Open Research Agenda Setting. OECD Science. Technology and Innovation Policy Papers, 50.
- Oreskes N., & Conway E.M. (2016). Les marchands de doute : ou comment une poignée de scientifiques ont masqué la vérité sur des enjeux de société tels que le tabagisme et le réchauffement climatique. Ed. Le pommier, 526p.
- O'Riordan T. (1995). Environmental Science for Environmental Management.
- Pampel H. & Dallmeier-Tiessen S. (2014). Open research data: from vision to practice (pp. 213-224). In: Opening science : the evolving guide on how the internet is changing research, collaboration and scholarly publishing. Bartling S. & Friesike, S. (éds.). Ed. Springer, 339p.
- Peters HP. (2013). Gap between science and media revisited: Scientists as public communicators. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 110.
- Pestre D. (2003) Science, argent et politique : un essai d'interprétation. Science en Question. Ed. Quae, 204p.
- Picketti T. (2018). Budget 2018 : la jeunesse sacrifiée. Blog de Thomas Picketti Le Monde.
- Price A.M & Peterson L.P. (2016). Scientific progress, risk, and development: Explaining attitudes toward science cross-nationally. International Sociology 31 : 57-80.
- PROSPER. (2019). Big&Open Data en recherche à l'horizon 2040. Rapport du groupe de travail inter-organismes, (en cours de validation) mars 2019.
- Pumain D & Dardel F. (2014). L'évaluation de la Recherche et de l'Enseignement supérieur Rapport à Madame la Ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.
- Rabeharisoa V., & Callon M. (2004). Patients and scientists in French muscular dystrophy research. In: Jasanoff, S. (ed.): States of knowledge. The co-production of science and social order, 142-160.
- Rapport Ministère de l'Economie et des Finances. (2016). Nouvelle France Industrielle Construire l'industrie française du futur. 112p.
- Rapport Marsouin. (2017). Premiers résultats de l'enquête Capacity sur les usages numériques des Français
- Reas E. (2018). Open science: Sharing is caring, but is privacy theft? PLOS Neuro Community,
- Rees H.C., Maddison B.C., Middleditch D.J., Patmore J.R., Gough K.C. (2014). The detection of aquatic animal species using environmental DNA—a review of eDNA as a survey tool in ecology. Journal of Applied Ecology, 51: 1450-1459.
- Repères, Chiffres clefs. (2015). <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2018-10/reperes-chiffres-cle-environnement-edition-2015.pdf>
- Riise J. (2008). Bringing Science to the Public. (pp. 301-309) In : Communicating Science in Social Contexts - New Models, New Practices. Cheng, D., Claessens, M., Gascoigne, N.R.J., Metcalfe, J., Schiele, B., Shi, S. (éds.). Ed. Springer Science and Business Media B.V., 320p.
- Robin P., Aeschlimann J.P., Feller C. (2007). Histoire et agronomie - Entre ruptures et durée. Ed. IRD, 512 p.
- Roddaz J.M. (2017). Le financement de la recherche sur projets : pourquoi et comment ? L'exemple des sciences humaines et sociales. Mélanges de la Casa de Velázquez. Nouvelle série 321-328.
- Rogers E.M. (1962). Diffusion of innovations. Free Press of Glencoe, New York.
- Rouvroy A. (2016). La gouvernementalité algorithmique : radicalisation et stratégie immunitaire du capitalisme et du néolibéralisme ? La Deleuziana-Revue en Ligne de Philosophie, 3.

- Sahut G. (2017). L'enseignement de l'évaluation critique de l'information numérique. Vers une prise en compte des pratiques informationnelles juvéniles ? *Tic&société*, 11 : 223-248.
- SATT. (2019). Le Réseau SATT. <https://www.satt.fr/le-reseau-satt/>
- Schiele B. (2008). On and about the Deficit Model in an Age of Free Flow. (pp 93-117) In : *Communicating Science in Social Contexts - New Models, New Practices*. Cheng, D., Claessens, M., Gascoigne, N.R.J., Metcalfe, J., Schiele, B., Shi, S. (éds.). Ed. Springer Science and Business Media B.V., 320p.
- Schultz E. (2016). Construire une économie de la recherche sur projets. L'installation de l'Agence nationale de la recherche en France et ses conséquences dans les domaines de la génomique végétale et de la chimie durable (Doctoral dissertation, Paris 4).
- Schwendimann B. A., Rodriguez-Triana M. J., Vozniuk A., Prieto L. P., Boroujeni M. S., Holzer A., et al. (2016). Perceiving learning at a glance: A systematic literature review of learning dashboard research. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 10: 30-41.
- Sciences citoyennes. (2013). La recherche participative comme mode de production de savoirs - Un état des lieux des pratiques en France. Coordinatrice Bérangère Storup / Auteurs Glen Millot, Claudia Neubauer et Bérangère Storup.
- Segonds E. (2015). En France, le présentiel se maintient davantage que dans d'autres pays d'Europe. Cegos, le blog de la formation professionnelle et continue.
- Serres M. (2012). Petite Poucette. Eds Le Pommier, 90p.
- Servigne S., Gripay Y., Deleuil J.M., Jay J., Mebrouk R. (2014). Modélisation générique de données capteurs hétérogènes : de la captation de données à la compréhension de phénomènes. SAGEO'2014 : Conférence Internationale en Géomatique et Analyse Spatiale.
- Sharma Y. (2017). Time to open the curtains on peer review. NatureIndex, <https://www.natureindex.com/news-blog/time-to-open-the-curtains-on-peer-review>.
- Sharple M., de Rook R., Ferguson R., Gaved M., Herodotou C., Koh E, et al. (2016). Exploring new forms of teaching, learning and assessment, to guide educators and policy makers. Open University innovation report 5.
- Shenk D. (1993). Data Smog. *The Next Progressive*.
- Simon H.A. (1971). Designing organizations for an information-rich world, 37-72.
- Site Alim'Agri (2017). L'agriculture numérique française a une ambition mondiale. 30/11/2017, <http://agriculture.gouv.fr/lagriculture-numerique-francaise-une-ambition-mondiale>.
- Socientize. (2013). Green Paper on Citizen Science - Citizen Science for Europe Towards a better society of empowered citizens and enhanced research. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/green-paper-citizen-science-europe-towards-society-empowered-citizens-and-enhanced-research>
- Taddei F., Becchetti-Bizot C., Houzel G. (2017). Vers une société apprenante. Synthèse du Rapport Taddei issu de la mission confiée par le MENESR : « un plan stratégique susceptible d'engager un changement d'ère et d'échelle pour la recherche et développement pour l'éducation ».
- Taquet M. (2015). Enquêtes EducPro : Pédagogie numérique : des enseignants enthousiastes mais épuisés.
- Tinetti B., Duvernois P.A., Le Guern Y., Berthoud F., Charbuillet C., Gossart C., Orgerie A.C., Lefèvre L., de Jouvenel F., Desauvay C., Hébel P. (2016). Potentiel de contribution du numérique à la réduction des impacts environnementaux : Etat des lieux et enjeux pour la prospective – Rapport Final ADEME 2016, 145p.
- Tisseron S. (2013). Apprivoiser les écrans et grandir. Eds Erès, 160p.
- Torregrosa A. (2009). La pratique scientifique et Internet : Quand la démarche interdisciplinaire devient une forme de médiation sociale. *Cahiers Sens public*, 11: 205-214.
- Trench B. (2008). Towards an Analytical Framework of Science Communication Models. (pp. 119-138) In : *Communicating Science in Social Contexts - New Models, New Practices*. Cheng, D.,

- Claessens, M., Gascoigne, N.R.J., Metcalfe, J., Schiele, B., Shi, S. (éds.). Ed. Springer Science and Business Media B.V., 320p.
- Trontin C., Lassagne M., Boini S., & Rinal S. (2010). Le coût du stress professionnel en France en 2007. Etude INRS. 6p.
- Van Est R., Stermerding D., Rerimassie V., Schuijff M., Timme J., Brom, F. (2014). De BIO à la convergence NBIC. De la pratique médicale à la vie quotidienne. Report for the Council of Europe prepared by the Bioethics committee of the Rathenau Institute. Institut Rathenau, La Haye, Pays-Bas.
- Vayre J.S. (2018). Machines intelligentes et économie numérique. Les Cahiers du numérique, 14 : 83-109.
- Venin T. (2013). Techniques de l'information et de la communication et risques psychosociaux sur le poste de travail tertiaire (Doctoral dissertation, Pau).
- Verdier H. (2018). La mise en données du monde - L'Etat plateforme. Retranscription d'une Conférence invitée du groupe PROSPER.
- Vial J. (1975). Vers une pédagogie de la personne. Eds Presse Universitaire de France.
- Vial J. (1978). Notes de synthèse : Histoire de l'éducation et de la pédagogie. Revue française de pédagogie 42 :93-105.
- Vinck D., & Natale E. (2015). La transformation des sciences historiques. La part du numérique. (pp.89-104). In : Disciplines académiques en transformation : entre innovation et résistances, Gorga A. & Leresche J-P. (éds). Ed. des archives contemporaines, 258p.
- von Hippel T., & von Hippel C. (2015). To apply or not to apply: a survey analysis of grant writing costs and benefits. PloS one, 10, e0118494.
- Waelbroeck P. (2017). Les enjeux économiques de la blockchain. Annales des Mines-Réalités industrielles 3 : 10-19.
- Wahl D. (2016). Une dramaturgie des sciences ? Responsabilité & environnement, 83.
- Zimmerman B. J., & Schunk D. H (2001). Self-regulated learning and academic achievement: Theoretical perspectives. Ed. Routledge, 334 p.



8. Annexe – Définition, tendances et hypothèses d'évolution des variables

Chacune des variables des sept composantes ainsi que les hypothèses d'évolution formulées pour ces variables sont présentées ici. (Les hypothèses d'évolution des composantes sont présentées dans le Chapitre 3). Cette annexe se présente sous la forme suivante :

Titre de la composante

Variable 1.1 –Titre de la variable 1.1

- Définition de la variable 1.1
- Tendances lourdes
- Tendances émergentes et signaux faibles
- Hypothèses d'évolution de la variable 1.1 à 2040

Les différentes composantes et variables traitées sont les suivantes :

<i>Composante : Pratiques de recherche</i>	
<i>1.1 Transformations des collectifs de recherche</i>	
<i>1.2 Production de connaissances</i>	
<i>1.3 Processus de validation des connaissances</i>	
<i>1.4 Evolution des métiers et articulation des compétences disciplinaires et numériques</i>	
<i>Composante : Pratiques d'enseignement et formation</i>	
<i>2.1. Contenu des formations</i>	
<i>2.2. Outils d'enseignement et de formation</i>	
<i>2.3. Accès à la formation</i>	
<i>2.4. Modalités de formation et de certification</i>	
<i>2.5 Evolution des relations entre formation initiale et continue au regard de la transition numérique</i>	
<i>Composante : Données</i>	
<i>3.1. Production et stockage des données</i>	
<i>3.2. Traitement des données</i>	
<i>3.3. Qualité des données</i>	

3.4. Modalité de circulation des connaissances et données	
Composante : Interactions de l'ESR avec la société	
4.1. Place de l'ESR dans son écosystème	
4.2. L'ESR et les médias	
4.3. Evaluation de l'ESR par la société	
Composante : Ethique et cultures numériques dans l'ESR	
5.1. Education numérique des chercheurs, enseignants-chercheurs	
5.2. Place du scientifique et de l'enseignant dans la société	
5.3. Circulation des enjeux éthiques entre l'ESR et la société	
5.4. Statut juridique des données et des contenus à des fins de recherche et d'enseignement	
Composante : Contexte : société, économie et politique	
6.1 Sensibilisation aux défis environnementaux	
6.2 Le numérique dans la société	
6.3 L'économie numérique	
6.4 Politique et acteurs du numérique	
Composante : Organisation institutionnelle de l'ESR	
7.1. Structuration des organisations	
7.2. Pilotage et stratégie	
7.3. Métiers et compétences	
7.4. Modèle économique de l'ESR	

Composante : Pratiques de recherche

Variable 1.1. Transformations des collectifs de recherche

✚ Définition

Cette variable concerne toute la chaîne de production de la recherche, depuis la problématisation et le montage de projet jusqu'à la publication sous l'angle des collaborations aux différents stades (*workflow*). Le numérique change le mode de fonctionnement et de création des collaborations en facilitant une ouverture spatiale et temporelle des collectifs de recherche à chaque étape du processus : formation de collectifs interdisciplinaires, intégration d'acteurs extérieurs, transformation de l'environnement de recherche (laboratoire virtuel).

✚ Tendances lourdes

- Augmentation du nombre de collaborateurs et de l'intensité de la collaboration grâce aux outils du numérique
- Internationalisation des collaborations
- Stratégies individuelles de collaboration
- Dynamisme (ou instabilité) de l'organisation
- Collaboration autour de grands équipements ou dispositifs (zones atelier, observatoires territoriaux)
- La révolution numérique comme opportunité pour le développement de partenariats avec le privé et création de start-ups.

✚ Tendances émergentes et signaux faibles

- La contribution croissante des acteurs du monde professionnel (recherches partenariales) et des citoyens (recherches participatives) à la recherche académique permet une innovation plus efficace.
- Des modes de collaboration avec des acteurs divers dans des tiers-lieux, *fab labs*, *living labs* permettent de nouvelles formes d'innovation locale et collective.
- Le développement de la « *commons-based peer production* » comme mode de production de connaissance collaborative et d'innovation distribuée
- Le développement de structures coopératives de recherche comme alternative aux structures publiques ou privées

✚ Hypothèses d'évolution

Hypothèse 1

Des collectifs à durée déterminée basés sur des réseaux individuels

Avec la précarisation de la recherche publique et la transition numérique, l'individualisation des activités de recherche s'accroît : l'organisation des collectifs est centrée autour d'un unique chercheur entouré de doctorants et de collaborateurs sous contrats courts et de partenaires plus ou moins diversifiés. Le chercheur, selon les opportunités et ses capacités et dispositions propres, s'engage dans divers réseaux locaux et internationaux. L'essentiel de son temps est consacré aux activités de ces réseaux autour de projets à pérennité

variable. Les collectifs se reconfigurent au gré des projets et ont peu de liens avec la structure d'origine. Les outils numériques renforcent l'efficacité de management de ce chercheur titulaire et lui confèrent une grande polyvalence. Celui-ci s'engage dans une activité dynamique de gestion de projet recouvrant la recherche de financement, le montage de projet, la gestion du collectif et des questions scientifiques.

Hypothèse 2

Collectifs d'innovation distribuée ancrés dans les territoires

Les partenariats se développent avec une diversité d'acteurs locaux. Ils deviennent le moteur de la recherche et d'une innovation satisfaisant à la fois des enjeux économiques, environnementaux et sociaux du territoire dans lequel ils s'inscrivent. Les chercheurs s'engagent dans des structures dynamiques ouvertes et distribuées où Etat, collectivités territoriales, entreprises (grandes firmes) et tiers état de la recherche (petites entreprises de l'ESS et PME, groupes concernés constitués en syndicats, associations, et chercheurs amateurs) co-construisent des projets d'innovation élargie dans laquelle la dimension territoriale est primordiale. Ils se basent sur des critères non seulement économiques, mais aussi sociaux, environnementaux et portés par des valeurs éthiques ou politiques telles que justice, ouverture, autonomie, et solidarité. Ils créent des emplois locaux via des start-ups, ont des partenariats avec les entreprises et les universités locales, font intervenir les citoyens dans des structures de type fablabs etc. Le haut degré d'échange et de collaboration facilité par le numérique fait émerger des processus d'innovation qui répondent à une recherche de sens pour les chercheurs, à une évolution de la société et aux enjeux des territoires.

Hypothèse 3

Collectifs de recherche hommes-machines organisés autour de grands dispositifs

Avec la transition numérique se développent de grands équipements, des infrastructures, des plateformes et la mise en réseaux d'outils, de sites expérimentaux et d'observatoires territoriaux. Les génopoles, bioclusters, tiers lieux et zones atelier, et réseaux nationaux et internationaux de stations de mesure, et de plateformes expérimentales, d'analyses et de modélisation agrègent de plus petites structures et se multiplient. Ces grands dispositifs géographiquement distribués très coûteux sont détenus selon les cas par des consortiums internationaux, des Etats ou des partenariats publics/privés ou privés. Le développement de l'intelligence artificielle et des outils de simulation se poursuivent, des robots remplacent une partie des personnels de recherche (du technicien au chercheur). Les collectifs travaillant dans ces grands dispositifs sont donc mixtes avec des robots, de l'IA, des techniciens à rôle renouvelé, des thématiciens et des chercheurs en sciences de la donnée. Des collaborations se constituent autour de ces grands dispositifs qui sont devenus essentiels dans l'activité des chercheurs.

Hypothèse 4

Privatisation de la recherche

Le numérique nécessite des investissements tellement élevés que l'Etat ne peut pas suivre et se désengage. La recherche, passée aux mains d'opérateurs privés, disparaît au profit de l'innovation : Les questions de recherche sont définies en fonction d'impératifs économiques et pour répondre à des besoins du marché. Des collectifs de chercheurs remplacent les collectifs de chercheurs. De taille variable, ils vont du chercheur autoentrepreneur au service de R&D dans de grandes entreprises, en passant par des bureaux d'études. Tous répondent aux appels d'offre des opérateurs privés. Ils changent de thématique au gré des contrats qu'ils décrochent. Conduits par des aspects financiers, ils se vendent au travers de « books »

présentant leurs réalisations. Ils deviennent prestataires de service voire intermittents de la recherche.

Variable 1.2. Production de connaissances

+ Définition

Cette variable correspond à l'organisation de la chaîne de production des connaissances. Traditionnellement, cette chaîne est représentée de manière linéaire passant successivement par les stades de l'expérience, puis de l'interprétation des résultats de l'expérience, pour en extraire des connaissances. Cette chaîne est bouleversée par le développement du numérique et en particulier des volumes massifs de données. Avec les algorithmes, il est par exemple possible d'extraire des connaissances directement à partir des données. Jusqu'à présent les algorithmes peuvent mettre en exergue de nombreuses corrélations (data-mining) mais seuls les chercheurs sont capables de savoir si ces corrélations sont judicieuses.

+ Tendances lourdes

→ Nouveau paradigme inductif et déductif qui articule dans la production de connaissance : la fouille automatisée de données pour l'identification d'hypothèses, l'interprétation des résultats par des scientifiques spécialistes du domaine, la simulation et l'expérimentation in situ pour la production de connaissances.

→ Rôle des communautés virtuelles de recherche dans la production de connaissance qui se structurent en réseaux sociaux ou d'outils collaboratifs en ligne et agissent aux différents stades de la recherche.

→ Focalisation sur un nombre de plus en plus réduit d'articles emblématiques

→ Savoir stocké sous forme numérique et soumis à des modifications permanentes

+ Tendances émergentes et signaux faibles

→ Passage d'une science fabriquant une connaissance des phénomènes à une science prédictive des phénomènes. Vision empirique de production de la connaissance qui s'appuie sur la calculabilité, sur la détection de corrélations à l'intérieur de volumes massifs de données. Arrêt de la production de la connaissance.

→ Captation des données en ligne par des groupes privés, spécialisation « logistique » des fournisseurs de données / fin de l'archivage ; et développement d'un capitalisme de plateforme à l'intérieur des sciences. Vers une suppression du travail scientifique ?

→ Constitution de base de données distribuées et leur partage oriente la production de la connaissance. Rôle central des plateformes de données (données massives : collecte, archivage, stockage, traitement ; infrastructures de stockage). Standardisation des informations et formats de stockage rendent possibles certains types de recherche et impossibles d'autres.

→ Outils de visualisation des données et des traitements de données deviennent cruciaux dans le processus de production de connaissance.

→ Multiplication de communautés hybrides (chercheurs et non-chercheurs) en ligne qui interprètent les données mises à disposition par un acteur pour construire la connaissance.

+ Hypothèses d'évolution

Remarque préliminaire : il y a une centralité des opérateurs de données dans toutes les évolutions envisagées.

Hypothèse 1

Science abductive (inductive et déductive) basée sur la fouille de données

Le paradigme abductif, qui s'appuie sur l'analyse de données (plutôt que sur une théorie préétablie) pour identifier des hypothèses explicatives, se généralise dans les sciences. On remonte ainsi des effets observés, détectés grâce à une grande masse de données, pour identifier des causes probables. L'idée est qu'il est possible de découvrir des hypothèses nouvelles grâce à de la fouille de données non supervisée, et qu'ensuite ces hypothèses explicatives sont testées selon la logique de la preuve scientifique propre à chaque discipline. La fouille de données est cruciale dans ce type de démarche, et mobilise par exemple l'intelligence artificielle symbolique. Ces approches sont particulièrement adaptées à l'analyse des systèmes complexes. La production de connaissance reste centrale dans les pratiques scientifiques.

Hypothèse 2

Science prédictive avec IA innovante (combinant IA connexionniste et symbolique)⁹

Une science du prédictif calculable, fondée sur de nouvelles formes d'intelligence artificielle combinant des approches connexionniste et symbolique, se développe dans un grand nombre de disciplines. Cette démarche est basée sur le développement de l'IA connexionniste, des machines apprenantes, et des données massives. Elle est l'aboutissement de deux tendances dans l'évolution des sciences de la donnée (depuis 20 ans) : une recherche de la causalité par l'IA ; et une automatisation de l'analyse. Si l'on continue d'intégrer la connaissance dans la modélisation, la place de la modélisation a évolué : on l'utilise pour produire des données virtuelles sur lesquelles on fait émerger des propriétés. La validation des modèles passe par des analyses statistiques. Il y a un changement du régime de la preuve : avant, le résultat était le modèle explicatif ou mécaniste (mais trop complexe) ; aujourd'hui, la validité du modèle se définit dans la confrontation avec l'expérience (analyses statistiques de milliers de résultats d'un modèle afin de valider des résultats). On en déduit des corrélations, des propriétés émergentes. La confiance en la validité du modèle est beaucoup plus forte qu'auparavant. C'est le grand nombre et les données massives qui sert à valider les résultats.

Hypothèse 3

Désintermédiation du travail scientifique, captation des données par de grands groupes privés (et capitalisme de plateforme)

Il y a une absorption progressive des sciences et des pratiques scientifiques par le capitalisme de plateforme (par ex. éditeurs, gestionnaires de bases de données, réseaux sociaux de la recherche, possesseurs des données produites en agriculture et élevage). Le processus d'automatisation génère une désintermédiation du travail scientifique qui aboutit à la suppression de certaines pratiques (par ex. une automatisation du peer-review ou une priorité aux marqueurs de valorisation économique en prédiction agronomique). Il y a une automatisation de toute la chaîne de production des connaissances (par ex. un usage du data-wrangling permet d'automatiser le choix des variables) et une captation de toute la chaîne de production de connaissance par des entreprises privées (données, traitements, connaissances, modèles). De nouveaux acteurs émergent qui captent et concentrent les données, les modèles et les connaissances pour les valoriser (traitement des données) sous

⁹ **L'IA connexionniste** est incarnée par le machine learning, les réseaux de neurones et le deep learning, qui s'entraînent à partir de données et sont des approches probabilistes. Basée sur le développement des capacités de calcul, elle domine les avancées récentes de l'IA pour l'analyse de données, le traitement du langage et des images. **L'IA symbolique** gère le raisonnement formel et la logique. On la retrouve notamment dans les moteurs de règle et les systèmes experts. Elle est démontrable car sa logique est décorticable. Elle est aujourd'hui moins utilisée que l'IA connexionniste.

la forme de fourniture et de vente de services. La captation concerne également les modèles ; c'est par ex. Microsoft qui embauche en masse des doctorants spécialistes des modèles de systèmes de culture pour construire son propre modèle en investissant des millions de dollars. Il résulte de ces transformations une diminution en général de la capacité d'intervention sur les milieux complexes, et peu de production de connaissance dans les domaines non-marchands.

Hypothèse 4

Repositionnement de la recherche publique sur des nouveaux régimes de production de connaissance (biens communs, sujets émergents)

Dans ce scénario, face au développement des recherches privées à vocation marchande basée sur l'automatisation et face à la captation des connaissances par ces entités, l'ESR publique se repositionne sur des thématiques émergentes où il n'y a pas encore de valorisation marchande, sur des domaines ayant trait aux biens communs où il est nécessaire d'avoir une expertise indépendante des entreprises, là où il existe une demande citoyenne, et pour ouvrir avec les citoyens des espaces des possibles en explorant les sorties des *lock-in* des systèmes marchands. Les liens entre scientifiques et société civile se développent : des groupes de citoyens contrôlent les données et les analysent (coopératives de citoyens produisent connaissances) ; il y a un développement des sciences participatives (remontée de données ou d'hypothèses par des citoyens).

Variable 1.3. Processus de validation des connaissances

+ Définition

Cette variable concerne le *peer-review*, la publication (publisher) et les types de publication. Le numérique permet de construire des processus de validation par les pairs sans passer par des éditeurs scientifiques. Il pourrait permettre de construire un processus de publication plus riche et plus ouvert : résultats lisibles, exploitables par des machines, connectés et reliés, donnant accès aux critiques des résultats, aux résultats négatifs, aux données originales ; et de générer plus de valeur ajoutée sur toute la chaîne de production de connaissance

+ Tendances lourdes

- Le *peer-review* continue de constituer le processus principal de validation des connaissances dans la communauté scientifique.
- Les supports de connaissance se diversifient en faveur des supports numériques
- L'édition scientifique se concentre dans les mains d'un petit nombre d'éditeurs
- On assiste à une inflation du nombre de publications
- Le libre accès se généralise

+ Tendances émergentes et signaux faibles

- Le système du *peer-review* est critiqué, des alternatives émergent :
 - L'évaluation par les pairs, ouverte, sans intermédiaires, avec le concept « d'article vivant » modifié en permanence
 - L'évaluation d'article est effectué par IA

- Des alternatives au système d'édition scientifique à but lucratif sont proposées.
- Les réseaux sociaux ouvrent de nouveaux espaces d'échanges entre scientifiques

Hypothèses d'évolution

Hypothèse 1

Grands éditeurs et relecteurs humains

Les grands éditeurs internationaux, déjà en position d'oligopole en 2018, se concentrent et renforcent encore plus leur position et déterminent les règles et le modèle économique du monde de l'édition scientifique tout en respectant le libre accès. Pour la validation des publications scientifiques, le système traditionnel de *review* par les pairs demeure. Ce travail conséquent de la part des chercheurs peut perdurer parce qu'il est désormais pleinement reconnu, valorisé au même titre que leurs autres responsabilités (rémunération, progression de carrière...) et secondé par les outils numériques. Le recours à l'intelligence artificielle utilisant des critères hyper-objectifs (par exemple sur la forme ou sur la détection du plagiat) libère les *relecteurs* des tâches les moins intéressantes.

Hypothèse 2

Grands éditeurs et review par IA

Les grands éditeurs historiques sont absorbés par des grands acteurs du numérique qui mobilisent l'IA pour le reviewing.

Hypothèse 3

Auto-organisation, validation-diffusion en continu, et scoring dans la communauté scientifique

Pour la validation des publications scientifiques, des communautés de chercheurs dans les sciences du vivant aspirent à une plus grande transparence et ouverture, et intègrent le modèle *Peer Review In* aux nouvelles plateformes de publications. Le processus de validation d'un pre-print s'enrichit avec des commentaires ouverts et transparents, avec le scoring, c'est-à-dire une notation globale (nombre d'étoiles) qui formalise la notion de publication remarquable. 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 désormais intégralement partie de la connaissance. Inspirés par la communauté des chercheurs en informatique qui déjà en 2018 n'ont plus recours aux éditeurs, et portés par une dynamique de diffusion de connaissances ouvertes, les chercheurs dans les sciences du vivant déposent leurs articles sur des plateformes ouvertes à tous et d'accès gratuit. Ils éliminent ainsi les grands éditeurs du paysage de la publication scientifique.

Hypothèse 4

Dialogue et engagement au-delà de la communauté scientifique

Les communautés de chercheurs adoptent les paradigmes du dialogue, de la participation et de l'engagement. Cela se traduit par une communication à double-sens entre partenaires égaux. La pertinence, le fond et la forme des productions scientifiques font l'objet de discussions, voire de négociations avec une diversité de contributeurs qu'ils soient scientifiques professionnels issus d'EPST, d'entreprises privées, de collectivités territoriales, et d'associations ou amateurs éclairés. Ils mobilisent les nouveaux médias de communication qui favorisent le dialogue.

Variable 1.4. Evolution des métiers et articulation des compétences disciplinaires et numériques

+ Définition

Cette variable envisage la manière dont les sciences de la donnée et le numérique dans son ensemble vont changer les approches disciplinaires. Elle s'intéresse aux modifications disciplinaires et par conséquent à l'évolution des métiers et des formations à la recherche induite par le numérique. L'une des questions concerne également les rôles respectifs des chercheurs en sciences de la donnée par rapport aux spécialistes disciplinaires

+ Tendances lourdes

- Les compétences en sciences de la donnée deviennent incontournables dans de nombreuses disciplines.
- Elles sont intégrées peu à peu aux différentes disciplines.
- Certains pans de disciplines sont profondément modifiés par le numérique et requièrent des compétences en statistiques, informatique et mathématiques. Les écoles et universités en ont pris conscience et proposent désormais des spécialités en ce sens.
- Domination des pans disciplinaires très instrumentés et manipulant de grande quantité de données comme la génétique sur les disciplines voisines (par exemple la génétique sur la biologie et l'écologie)

+ Tendances émergentes et signaux faibles

- Les chercheurs en sciences de la donnée incorporés dans les équipes de recherche disciplinaires pourraient se sentir isolés de leur communauté, et de fait, perdre en compétences.
- Réduction des disciplines : Perte de certaines spécialités disciplinaires (moins instrumentées, basées sur l'observation directe, n'ayant que peu de données quantifiées) au profit des sciences de la donnée qui pourrait dans un futur proche faire perdre en compétences la discipline.
- L'interdisciplinarité qui est mise en avant dans les programmes de financement pourrait induire une perte de spécialistes disciplinaires.

+ Hypothèses d'évolution

Remarque préliminaire : l'ensemble de la communauté scientifique possède des bases en sciences de la donnée lui permettant d'avoir un regard critique des résultats issus des analyses des sciences de la donnée.

Hypothèse 1

Co-existence d'assembleurs interdisciplinaires et de spécialistes disciplinaires

L'acquisition de données massives au cours des décennies précédentes ainsi que le croisement des bases de données permis par le numérique a favorisé l'émergence de scientifiques assembleurs. Ces scientifiques ont une formation généraliste dans des champs disciplinaires historiquement distants. Véritables spécialistes de l'interdisciplinarité, ces

scientifiques présentent un profil communément rencontré dans les centres de recherche en 2040. Les spécialistes non interdisciplinaires apportent une aide ponctuelle aux assembleurs interdisciplinaires.

Hypothèse 2

Collaboration et prestation de service

Les sciences de la donnée se structurent en discipline. Des laboratoires sont dédiés à cette science et permettent une stimulation scientifique de ses membres. Les chercheurs en agronomie, environnement, alimentation et sciences vétérinaires d'une part, et ceux en sciences de la donnée, d'autre part, collaborent. Outre ces collaborations académiques, des bureaux d'étude spécialisés en *sciences de la donnée* proposent des prestations de services aux chercheurs disciplinaires. Afin de traiter de manière efficace et judicieuse les jeux de données issues des recherches académiques, ces bureaux d'étude se sont spécialisés dans deux ou trois champs disciplinaires.

Hypothèse 3

Chercheurs avertis en sciences de la donnée versus spécialistes des sciences de la donnée

Tous les chercheurs sont formés aux sciences de la donnée. Les chercheurs en sciences de la donnée sont spécialisés dans ce domaine. Des tensions apparaissent entre les chercheurs des champs disciplinaires traditionnels et ceux des sciences de la donnée. Les premiers ne ressentent pas le besoin de recourir aux seconds et inversement. Les financeurs supportent très majoritairement les chercheurs en sciences de la donnée.

Composante : Pratiques d'enseignement et formation

Variable 2.1. Contenu des formations

+ Définition

La notion de contenu s'entend comme le sens et surtout la teneur de la formation et le type de connaissances transmises. La variable décrit l'évolution de la matière enseignée dans un contexte où les notions de compétence (vs. connaissance), d'adaptabilité et de personnalisation / individualisation prennent plus d'importance. Cette variable traite également des conditions et modalités de production, de diffusion et de validation des ressources pédagogiques dans un contexte d'évolution des connaissances très rapides et de déplacement des sujets d'apprentissage (aujourd'hui on est plus sur du « savoir être » et du « être capable de » que sur la capacité d'apprendre de grandes quantités de connaissances).

Tendances Lourdes

- Maîtrise des contenus par les enseignants en secondaire et dans le supérieur
- Remise en cause des enseignements jugés archaïques
- Massification de l'enseignement secondaire et de l'enseignement universitaire
- Mise en place de procédures pédagogiques adaptées à la diversité des individus au sein même d'un enseignement collectif de masse
- En agronomie, les contenus ont évolué par rapport :
 - A la production de connaissances dans ce domaine et la place de la discipline dans l'enseignement
 - Aux cursus des élèves ingénieurs qui se sont nourris de leurs expériences de stages dans le milieu professionnel

Tendances émergentes et signaux faibles

- Utilisation des technologies numériques pour une adaptation complète à l'apprenant grâce à l'analyse de son profil, de ses motivations à se former, du niveau d'où il part et celui où il veut arriver
- De nouvelles méthodes d'enseignement souvent ancrés dans le mode de vie des nouvelles générations d'étudiants

Hypothèses d'évolution

Hypothèse 1

Un contenu orienté par les compétences répondant aux besoins de l'entreprise

Les apprenants s'orientent vers des formations répondant aux besoins de l'entreprise. Ces besoins sont pris en compte dans la définition des contenus. Ces contenus sont plus opérationnels, adaptatifs et privilégient l'approche par compétences. Le numérique accentue l'adaptabilité et la flexibilité des parcours ce qui permet une meilleure employabilité des apprenants. Les thématiques de formation initiale de type classique, disciplinaires, perdurent, deviennent des connaissances génériques mais sont moins suivies par les étudiants.

Hypothèse 2

Un cursus proposé par un algorithme lié à une offre de contenu à la carte et individualisée

Les apprenants, avec l'ensemble de leurs données, font l'objet de profilage. Sur cette base, des algorithmes leur proposent des formations initiales et continues en fonction des parcours, motivations et débouchés. Les enseignants ont peu d'influence sur le parcours global de l'apprenant. Deux niveaux d'intervention des algorithmes sont à distinguer. Le premier niveau, où les enseignants n'auront plus la main sur le parcours global de l'apprenant. L'algorithme dans ce cas se prononcera en fonction des données personnelles intégrées par l'apprenant lui-même ou bien par d'autres acteurs du parcours global de l'apprenant : chaque apprenant dispose d'un compte individualisé numérique qui peut être renseigné par un enseignant lors d'une formation, une institution pour un diplôme. Le deuxième niveau d'intervention de l'algorithme est une assistance lors d'une formation spécifique de l'apprenant, où il peut jouer le rôle d'accompagnant, en appui à l'enseignant. Dans ce cas l'enseignant gardera un certain contrôle sur le déroulement de la formation.

Hypothèse 3

Contenu de la formation guidée par la transdisciplinarité

La recherche de nouveauté et de découvertes par le croisement de données issues de champs disciplinaires auparavant déconnectés et l'engouement pour l'interdisciplinarité conduisent à une réduction des offres de contenus de formations uniquement disciplinaires. La transdisciplinarité, en tant qu'approche systémique visant à dépasser les silos de connaissances, prend le pas sur une vision disciplinaire de la formation. En développant cette approche systémique, il y a un besoin de compétences spécifiques aux interfaces. La science des données est un des moyens pour dépasser les cloisonnements disciplinaires.

Variable 2.2. Outils d'enseignement et de formation

+ Définition

La notion d'outil précise quel moyen (humain ou matériel) permet d'effectuer une action. La variable décrit la pénétration des outils numériques et les possibilités induites dans les activités d'enseignement et de formation et la place accordée à l'enseignement du numérique et de ses usages.

+ Tendances lourdes

→ La démocratisation de l'informatique et l'internet induisent la diffusion de supports numériques d'éducation ouverts qui gagnent en dynamisme (animation, multimédia) et interactivité.

→ Le partage de simples ressources numériques évolue vers un enseignement de plus en plus connecté (MOOC, cours en ligne) avec une plus grande liberté des apprenants (dans l'espace et dans le temps) et une mutualisation au travers de plateformes de diffusion ou de construction des contenus.

→ De nouveaux besoins liés à l'orientation ou à l'utilisation des outils numériques émergent et sont partiellement couverts. La personnalisation des contenus et des parcours fait son apparition.

+ Tendances émergentes et signaux faibles

La jeunesse exprime un fort besoin de souplesse, de mobilité et de responsabilité dans la construction de son parcours d'études et de vie. (Rapport Stranes 2014)

+ Hypothèses d'évolution

Hypothèse 1

Grand choix d'outils

Une augmentation exponentielle et une diversification des ressources numériques d'enseignement et de formation (réalité virtuelle, *learning labs*, simulateurs...) permettent une multitude de choix d'outils en fonction des besoins toujours plus différenciés des étudiants.

Hypothèse 2

Des outils numériques captés par les entreprises

Suite à l'incapacité de l'ESR à se mobiliser, les entreprises s'emparent des outils numériques. Les outils sont privés et payants. L'apprenant est un client qui a des exigences fortes en termes de qualité et disponibilité d'outils d'enseignement et de formation.

Hypothèse 3

Mobilisation de l'ESR et mise à disposition d'outils numériques d'enseignement de haut niveau

L'ESR se mobilise et obtient les moyens nécessaires à la construction d'outils de haut niveau. Il s'agit ici d'une mobilisation qui s'accompagne d'une structuration et de moyens aussi bien humains (ingénieurs pédagogiques, développeurs des outils, chefs de projets, fournisseurs de contenus ...) que financiers ou d'infrastructures permettant la création des outils. Le coût étant important, une mutualisation forte est impérative. Les outils prennent des formes aussi variées que de petits modules interactifs réutilisables dans différents cursus (grains) ou des réalisations beaucoup plus lourdes telles les simulateurs dont le coût de développement est très élevé.

Variable 2.3. Accès à la formation

✚ Définition

La notion d'accès traite de la capacité à atteindre quelque chose. La variable décrit la possibilité pour une population donnée d'apprenants d'accéder facilement à une formation en fonction de son genre, de son origine socio-professionnelle, de son parcours antérieur en termes de qualification, de ses motivations personnelles et professionnelles. Cette variable aborde également le pilotage du système de formation initiale et continue et son évolution (mécanismes de pilotage des systèmes de formation et des politiques publiques en matière de formation continue et initiale, répartition des compétences entre acteurs).

✚ Tendances lourdes

→ L'accès à l'enseignement supérieur et à la formation continue se démocratise malgré des inégalités sociales.

→ Persistantes (on parle de décalage : beaucoup plus de diplômés mais une dévalorisation de ces diplômes).

→ L'Etat reste de loin le principal financeur avec un engagement dans la moyenne européenne et un coût modéré pour les ménages. L'accompagnement vers les nouveaux outils (plateformes) reste insuffisant.

✚ Tendances émergentes et signaux faibles

Un engagement financier de l'Etat sur une pente moins forte voire descendante avec un recours aux établissements privés en forte croissance.

Hypothèses d'évolution

Hypothèse 1

Des écarts creusés

On constate une fracture numérique dans le domaine de la formation. Les écarts dans l'accès physique, économique, social et culturel aux formations se creusent du fait d'une croissance des inégalités socio-économiques et territoriales, et de différences accrues entre milieux socio-culturels dans l'usage du numérique. Les systèmes d'apprentissage sont très individualisés ; le numérique amplifie l'isolement des individus à l'intérieur de leur milieu socio-culturel et de leur sphère professionnelle. L'usage du numérique dépend de compétences héritées et construites dans le milieu socio-culturel d'origine. Les plus éduqués au numérique ayant un environnement favorable (accès physique et accompagnement familial par exemple) ont de plus en plus de capacités à mobiliser des formations en numérique (à les rechercher et à les mener).

Hypothèse 2

Développement d'un enseignement accessible à tous

Les politiques publiques en matière de formation prennent une série de mesures permettant l'accès à l'internet sur l'ensemble du territoire et l'accès à la formation à tous. Des systèmes d'accompagnement des apprenants pour l'utilisation du numérique dans tous les parcours de formation ainsi que la gratuité des enseignements et des certifications permettent l'accès de l'ensemble de la population à l'enseignement supérieur.

Hypothèse 3

Déploiement de l'enseignement supérieur en présentiel utilisant des outils numériques performants

Les universités et écoles sont reconnues comme des lieux de sociabilisation nécessaires au bon apprentissage des apprenants, qui permettent de maintenir une mixité sociale. L'interaction en présentiel entre les apprenants est favorisée et recherchée comme un élément essentiel de la dynamique d'apprentissage. La formation initiale est réalisée majoritairement en présentiel et avec beaucoup d'interactivité, de simulations... permises par le développement des outils numériques mis en place par l'ESR.

Variable 2.4. Modalités de formation et de certification

Définition

La notion de modalité relève des différentes formes que peut prendre un contenu, une organisation. La variable décrit les acteurs et leurs relations mais aussi les formes de formation (cours, apprentissage, MOOC) et les façons d'apprécier l'efficacité et la reconnaissance des acquis par tout système de certification, de validation sous toutes ses formes (reconnaissance du travail de l'apprenant par différentes formes telles que les réseaux de compétences par exemple).

Tendances lourdes

→ Le présentiel tend à diminuer fortement mais moins vite en France que dans d'autres pays d'Europe, au profit du « digital learning ».

→ Besoin de justifier de ses acquis et de reconnaissance de ces compétences et connaissances face au chômage de masse.

→ Politique publique favorisant cette démarche de reconnaissance (RNCP, VAE...).

+ Tendances émergentes et signaux faibles

→ La dimension d'employabilité et de flexibilité.

→ Les certificats professionnels associés constituent des « parties » de diplômes, qui peuvent être acquis en un temps adapté à l'entreprise et au salarié permettant la construction de ses propres « blocs » de compétences à sa convenance (CPF).

+ Hypothèses d'évolution

Hypothèse 1

Une formation numérique-centrée avec un coach accompagnant

Après avoir compris que le tout-numérique dans l'enseignement n'est pas viable, l'apprentissage se fait par une formation hybride mêlant apports du numérique et coach accompagnant. Le but recherché est que les apprenants apprennent à apprendre et à mobiliser des informations pour résoudre des problèmes plutôt que d'acquérir des connaissances spécifiques. Les enseignants, à l'aide de ressources numériques – notamment des simulateurs – jouent des rôles importants en amont et en aval de la formation :

- En amont, ils construisent les modules d'enseignement et scénarisent des situations d'apprentissage se déroulant soit in-situ pour certains apprentissages pratiques (particulièrement pertinents dans les sciences du vivant) ou pour le savoir-être en collectif, soit dans de nouveaux lieux d'apprentissages modulaires, adaptables, et propices à l'interaction où les nouveaux médias d'apprentissage trouvent toute leur place.
- En aval, ils animent un exercice réflexif sur les enseignements tirés de l'expérience d'apprentissage.

Hypothèse 2

Diplomation par agrégation de certificats et fusion des ressources en ligne

On acquiert des compétences et des connaissances par le biais de certificats obtenus tout au long de son parcours professionnel, en fonction de ses besoins, de sa capacité à l'auto apprentissage et du moment idéal. L'agrégation de ces certificats, souvent acquis en ligne notamment via des badges numériques, valide un diplôme qui aurait été auparavant obtenu en formation initiale. Une partie de cet apprentissage se fait grâce à des ressources en ligne qui ont été largement fusionnées au sein d'universités virtuelles internationales.

Hypothèse 3

Co-construction des outils et des contenus et communautés d'apprentissage hybrides

Les enseignants et apprenants co-construisent les contenus et les situations d'apprentissage en *learning center*, en situations réelles pour des travaux pratiques, et par l'intermédiaire de plateformes (moodle) construites autour de communautés d'apprentissages en ligne. Les apprenants deviennent concepteurs et acteurs d'un apprentissage qui n'est plus basé sur des contenus et des modalités préétablis. C'est ce processus d'échange et de co-construction de l'expérience pédagogique qui constitue l'essentiel de l'enseignement. Les apprenants apprennent et les enseignants se mettent à jour sur le fond et sur la forme en construisant les outils et contenus pour l'apprentissage. Le *Do It Yourself* et les classes

inversées contribuent au développement de cette forme d'enseignement. La frontière entre sachants et apprenants s'amenuise.

Hypothèse 4

Coexistence d'universités de grandes entreprises et d'un enseignement supérieur public

A côté des établissements de l'enseignement supérieur public, de grandes entreprises, inspirées par l'Ecole 42 et Google scholarships, créent leur propre université pour assurer la formation de leurs futurs employés. Ces entreprises investissent avec succès dans le e-learning et l'acquisition de leurs propres ressources pédagogiques numériques, collaboratives et à usage interne.

Variable 2.5. Evolution des relations entre formation initiale et continue au regard de la transition numérique

+ Définition

Cette variable décrit l'évolution de la relation entre formation initiale et continue, en termes de pilotage des systèmes, des modèles économiques et de proposition de parcours pour les apprenants (formation tout au long de la vie).

+ Tendances Lourdes

→ Un rapprochement des formations initiale et continue autour des questions numériques :

- des politiques de soutien fortes
- des enjeux pédagogiques similaires
- une remise en cause et des évolutions des missions des enseignants et formateurs

→ Un double mouvement de concurrence et de volonté de mutualisation des moyens entre l'offre de formation initiale et continue.

+ Tendances émergentes et signaux faibles

→ Les MOOC sont plus utilisés en formation continue qu'en formation initiale.

→ L'université vise à renforcer sa place dans la formation continue à travers les outils numériques.

+ Hypothèses d'évolution

Hypothèse 1

Des formations initiales et continues guidées par l'emploi et construites autour des compétences numériques

La formation initiale, qui permet d'acquérir les fondamentaux dont font partie les compétences numériques, est repensée et inscrite dans l'optique de l'insertion professionnelle. Elle est considérée comme le premier pas de la formation tout au long de la vie. Le numérique permet la personnalisation des parcours tout au long de la vie. Certaines universités sont financées par des entreprises pour développer les compétences nécessaires à celles-ci, et certaines disciplines qui n'intéressent pas ces entreprises disparaissent.

Hypothèse 2

Formation tout au long de la vie et prépondérance de la formation continue liée au développement du numérique

Seul un socle commun, qui comporte une éducation au numérique, est enseigné dans l'enseignement supérieur. On y apprend à vivre dans un monde numérique, à utiliser le numérique de façon pertinente et critique, à construire son parcours professionnel avec les outils numériques, à travailler en mode projet de façon transdisciplinaire. C'est dans la formation continue qu'on acquiert des reconnaissances de capacités qui permettent de revendiquer des niveaux salariaux. La formation continue prend une place prépondérante dans un monde en perpétuel changement où il devient incontournable de se former tout au long de son parcours professionnel pour rester employable. Le numérique est très favorable au développement de la formation continue, car il permet en particulier l'auto-formation de façon flexible dans l'espace et dans le temps.

Hypothèse 3

Des formations initiales et continues à deux vitesses

Le poids de la formation initiale est renforcé par la mainmise sur la formation des grandes écoles et universités prestigieuses, en lien avec les entreprises, qui prennent le pas sur les universités moins réputées. Les premières ont les moyens financiers nécessaires pour introduire beaucoup de formations numériques et d'immersion dans les apprentissages initiaux qui mènent à des diplômes extrêmement recherchés. Elles développent des services de formation continue numérique, certifiante et payante, reconnue par les employeurs. Ce sont elles qui donnent la carte d'accès à l'emploi.

Hypothèse 4

Disparition des organismes de formation continue et de la certification au profit de l'auto-formation

Dans un monde très changeant, les organismes de formation initiale et continue n'arrivent pas à proposer suffisamment rapidement des formations adaptées au monde du travail. Les diplômes traditionnels et les certifications disparaissent. Les entreprises repèrent les candidats sur des plateformes professionnelles puis les sélectionnent par des mises en situation qui leur permettent de tester leurs compétences, en particulier transférables et transversales (savoir-être, capacités d'apprentissage et de flexibilité). La formation continue est l'unique responsabilité de l'individu qui doit se former en permanence à l'aide d'un panel d'options numériques dédiées à l'auto-formation. Il a appris à le faire pendant sa formation initiale qui s'est limitée à apprendre à apprendre, à acquérir et mobiliser ses connaissances, et à construire son parcours professionnel. Il n'y a plus de cursus de formation proprement dit, mais un ensemble d'opportunités à saisir.

Composante : Données

Variable 3.1. Production et stockage des données

Définition

Cette variable décrit l'évolution de la production des données, que ce soit par des mesures ou des observations (humaines ou instrumentées) ou bien encore par d'autres processus dont une des sorties au moins est une donnée. Cette variable traite également de la problématique des infrastructures de stockage dans le cadre de la production massive de données et de fait de leur disponibilité.

Tendances lourdes

- On assiste à un volume croissant de données produites et à stocker.
- La variété des données et des informations est de plus en plus importante.
- Automatisation croissante voir collecte transparente et réduction des données non numériques / données produites non automatiquement.
- Le stockage est de plus en plus distribué.
- Les pays développés sont les principaux pays qui stockent et produisent les données au détriment des autres pays¹⁰.
- La prise en compte de l'interopérabilité au travers de métadonnées et de standards est de plus en plus importante.
- Une collecte de plus en plus en 'temps réel'.

Tendances émergentes et signaux faibles

- Le coût des capteurs peut exploser
- En recherche, la production de données issues de l'expérimentation pourrait être remplacée par la production de données issues de la simulation
- Quel(s) rôle(s) les humains joueront ils dans la production de données ? Ne seront-ils pas uniquement chargés de la mise en place et du maintien des dispositifs de captage de données ?
- Le stockage des données sous la forme actuelle pourrait se confronter à des limites énergétiques et financières : d'autres formes de stockage sont donc étudiées.¹¹
- La question de la pérennité et de l'obsolescence des méthodes et supports de stockage se pose.

¹⁰ Le continent africain ne produit et ne stocke que très peu de données. A contrario, les U.S.A sont les principaux producteurs et stockeurs du monde. Les pays producteurs/stockeurs imposent leurs propres contraintes techniques et juridiques aux autres pays du monde. Il n'y a pas de démocratisation de la production de la donnée au niveau international.

¹¹ Stockage sous forme d'ADN (Goldman et al., 2003), Quantique.... Une autre solution serait la fin du stockage de données massives qui serait remplacée par la production de nouvelles données

Hypothèses d'évolution

Hypothèse 1

Difficultés face au déluge de données

La volumétrie croissante et la diversité des données produites engendrent des incapacités à gérer correctement les données et/ou à les conserver durablement. Il en résulte une perte de certaines données.

Hypothèse 2

Généralisation des métadonnées et de l'interopérabilité

La majeure partie des données respecte des règles de description et de qualité sous la forme de métadonnées respectant des standards internationaux. Les données sont mises à disposition dans des formats interopérables grâce à des services respectant les standards de l'interopérabilité. (Web de données, services OGC ...)

Hypothèse 3

Tension économique entre les données issues de capteurs et une production manuelle, longue

Le coût des capteurs pourrait s'inverser par rapport à la tendance actuelle et l'analyse purement financière du coût de production pourrait mettre en danger la production de certaines données nécessitant une intervention humaine forte sur de longues périodes justifiées par l'absence de capteurs adaptés et le pas de temps du système étudié.

Hypothèse 4

L'accès aux données massives reste difficile

L'ouverture très encouragée des données 'publiques' ne sera pas forcément suivie pour les données du secteur privé. De plus des difficultés techniques telles que la bande passante nécessaire à l'accès ou au traitement de données volumineuses peuvent bloquer les travaux que doit mener la recherche.

Variable 3.2. Traitement des données

Définition

Cette variable décrit les évolutions liées à la gestion des données et à leur traitement dans le contexte de numérisation croissante, de big-data et d'ouverture et partage des données (mouvement de la science ouverte qui inclut la donnée ouverte)

Tendances lourdes

- Les activités de modélisation et de simulation croissante impliquent des traitements de données différents.
- On assiste à une augmentation de la modélisation prédictive.
- Une structuration à différents niveaux des capacités de calcul / stockage.
- La prise en compte de l'interopérabilité au travers de métadonnées et de standards pour s'inscrire dans le monde des données massives et de *la donnée ouverte*.
- Une automatisation croissante du traitement avec des workflows de traitement et une progression de l'IA.

✚ Tendances émergentes et signaux faibles

→ Des espoirs liés à l'informatique quantique pour dépasser des limites actuelles : l'informatique quantique permettrait de dépasser les limites du traitement de la donnée ce qui permettrait à la science nécessitant des puissances de calculs très importantes d'avancer beaucoup plus rapidement.

→ Les domaines scientifiques qui ne seront pas affectés par le numérique pourraient rester slow

→ Le développement des données massives pourrait atteindre ses propres limites et les chercheurs pourraient retourner vers les small data, plus locales et individualisées

✚ Hypothèses d'évolution

Hypothèse 1

Rôle central des data-analysts dans le traitement

La valeur repose plus sur le traitement des données et sur leur interprétation que sur les données elles-mêmes et les capacités techniques de calcul.

Hypothèse 2

Accroissement continu des capacités de calcul

Il n'y a pas de rupture technologique, l'ordinateur quantique ne fait qu'accélérer le traitement sans qu'il n'y ait de saut qualitatif.

Hypothèse 3

Traitement de la donnée distribué dans des capteurs

Les capteurs réalisent un pré-traitement, et font remonter des données déjà traitées dans les bases de données.

Hypothèse 4

Partage de tous les processus de traitement des données

Le processus de traitement est fragmenté et distribué au sein d'une communauté de scientifiques et/ou intégrant le public ; l'enjeu est ici la transparence et la robustesse du dispositif.

Hypothèse 5

Centralité des entreprises dans le traitement des données

Les entreprises qui ont accumulé de la donnée centralisent les capacités de traitement des données. Cela pose des questions de crédibilité et de reproductibilité des traitements qui sont réalisés par des acteurs privés ayant des intérêts spécifiques. Cela pose également un enjeu de souveraineté aux Etats, dont certains décident de conserver des capacités de traitements des données.

Hypothèse 6

Fortes contraintes sociétales freinant le traitement des données

La collecte des données se fait uniquement pour des enjeux précis. Le prétraitement des données est une garantie que la donnée ne soit utilisée qu'à un seul usage. Le Règlement général sur la protection des données est un signal faible de ce type d'évolution avec l'émergence d'une réglementation sur la collecte et l'usage des données.

Variable 3.3. Qualité des données

+ Définition

Cette variable retrace l'évolution des exigences de qualité liées aux données pour leur utilisation/réutilisation et les solutions qui y répondent. L'analyse de l'évolution des métadonnées entre pleinement dans ce contexte.

+ Tendances lourdes

→ Pour assurer la disponibilité et l'accès aux données, les principes FAIR sont largement appliqués avec un certain nombre d'exceptions (droits d'auteur, sécurité, respect des données individuelles, etc).

→ La convergence vers des standards se développe pour créer de plus en plus d'interopérabilité, notamment pour alimenter l'IA et l'automatisation.

+ Tendances émergentes et signaux faibles

→ Le monde académique n'est plus seul à garantir la validation et la qualification scientifique des données (des acteurs de la société civile ou des entreprises du numérique pourraient entrer en jeu)

→ L'IA participe à assurer la qualité des données.

+ Hypothèses d'évolution

Hypothèse 1

Cohabitation de deux types de données de qualité et de valeur différentes

Les données produites, qualifiées et validées par IA, sont de haute qualité, elles répondent à tous les critères FAIR et CAVAR du fait de l'automatisation de leur acquisition, traitement et stockage. Elles constituent des jeux de grandes tailles mais à faible valeur ajoutée car obtenues par inférence. Par opposition, les données expérimentales constituent des jeux de petite taille, qui ne répondent pas à tous les critères FAIR et CAVAR mais qui sont à haute valeur ajoutée : basées sur la réalité, elles permettent l'acquisition de connaissances innovantes

Hypothèse 2

Une exigence de qualité des données imposée par les agences de financement et les éditeurs scientifiques

Les scientifiques n'ont pas d'autre choix que de se soumettre aux exigences des normes de qualité s'ils veulent obtenir des financements et publier leurs résultats scientifiques. Une culture de la qualité des données se développe et se généralise, les plans de gestion de

données sont systématiquement conçus en amont des protocoles de recherche et les données publiques sont largement partagées et réutilisées.

Hypothèse 3

Une trop grande exigence de qualité tue la qualité

Soumis à des normes drastiques qui ralentissent voire paralysent leur activité, les scientifiques fournissent des plans de gestion de données aux financeurs mais ne les mettent pas entièrement en œuvre. Les jeux de données qu'ils mettent à disposition de la communauté scientifique ne remplissent les critères FAIR que superficiellement, afin de pouvoir être publiés, mais ils sont en fait bâclés, incomplets et/ou non vérifiés. L'interopérabilité et la réutilisation restent des vœux pieux mais tous s'en contentent afin de pouvoir continuer leur activité de recherche.

Hypothèse 4

Une exigence de qualité excluante

La haute exigence d'interopérabilité et de standardisation des données exclut certains champs de recherche qui ne fournissent pas de données de qualité suffisante. La programmation de la recherche se trouve de fait principalement orientée par les données, la pertinence de la question de recherche et la solidité du plan expérimental n'étant plus que de critères secondaires d'attribution des financements au regard de l'importance accordée au plan de gestion de données.

Variable 3.4. Modalité de circulation des connaissances et données

Définition

Cette variable prend en compte les mouvements d'ouverture que l'on rencontre pour la circulation des données (*la donnée ouverte*) et, plus largement, des connaissances (*la science ouverte*). Cette variable traite également des politiques d'incitation au partage des données et des connaissances au niveau national, européen et international et à la mise en œuvre technique du partage (par financement appel à projets...) des incitations à la publication en libre accès (embargos / barrières mobiles). Cette variable traite également des modèles économiques induits pour la mise en pratique de ces incitations au partage des données et publications.

Tendances lourdes

→ Les données produites par l'ESR sont ouvertes car publiques mais avec des restrictions du fait des droits d'auteur partagés avec les entreprises dans le cadre de contrats de partenariats.

→ Quid de la mise à disposition de données privées pour la recherche ?

Exemple : Onduo, la coentreprise de Verily (Google) et Sanofi va mener des essais cliniques aux Etats-Unis avant le lancement de cette plateforme. En analysant de nombreux paramètres (démographie, profil des pathologies, mode de vie,...), cette solution est censée proposer le suivi le plus adapté à chaque patient. Créée en septembre 2016, la société Onduo, coentreprise de Verily Life Sciences et Sanofi, assure déjà avoir quasiment finalisé la conception de sa plateforme pour améliorer la prise en charge du diabète.

→ Quid des restrictions d'accès ?

- La connaissance est ouverte mais avec une mainmise des éditeurs.
- Plus la recherche se contractualise (salaires), plus les chercheurs se libèrent de l'évaluation par les institutions.
- Auto évaluation par les pairs, sans intermédiaire des éditeurs (cela commence), et par les citoyens (en fonction de l'utilité sociale y compris la production de connaissances dites fondamentales)

✚ Tendances émergentes et signaux faibles

- A terme, les chercheurs pourraient choisir de se passer des éditeurs (cela existe déjà) et produire de la connaissance dans des revues en libre accès sans lien avec les *Impacts factors*.
- Les organisations mettent en place des procédures de contournement du monopole des éditeurs.
- Des « hackers » ouvrent l'accès aux publications (sci.hub).
- Des organisations refusent de payer les abonnements.
- Des chercheurs refusent de se plier au *publish or perish*
- Des institutions (comme l'INRA) modulent le poids des *Impacts factors* dans les évaluations
- L'ouverture des données :
 - Elle pourrait faciliter la production de connaissances par/avec des acteurs de la société civile et avec des enjeux de développement durable (ou bien public).
 - Les exceptions à l'ouverture des données pourraient devenir si nombreuses qu'elles réduiraient l'ouverture effective.
 - L'ouverture pourrait ne pas être totale pour des raisons techniques, juridiques, économiques.
 - Les partenariats avec les industriels dans un contexte d'exigence d'ouverture pourraient être freinés.
 - Les exceptions à l'ouverture des données pourraient devenir si nombreuses qu'elles réduiraient l'ouverture effective.

✚ Hypothèses d'évolution

Hypothèse 1

Statu quo des politiques de l'ouverture

L'incitation de la puissance publique ne suffit pas à soutenir la politique de *l'ouverture*. Les individus, les collectivités, ne partagent leurs données que s'ils trouvent un intérêt financier ou de renommée à le faire.

Hypothèse 2

RGPD v33 : Déclaration des droits numériques des hommes et des femmes

Il y a une obligation de « l'algo ouvert » imposé aux personnes dès que l'individu est confronté à un algorithme. Les règles et législations qui s'appliquent à l'individu sont exposées au sein d'une déclaration des droits des hommes et des femmes numériques.

Hypothèse 3

Des certificateurs de la donnée

L'évolution du métier de chercheur tend vers une augmentation du nombre de tâches. Parmi elles, celle du *reviewing* prend de plus en plus de temps. Avec les données massives, les publications basées sur l'analyse des bases de données augmentent et avec eux le temps de calcul nécessaire à l'acquisition des résultats. L'évaluation d'analyses de données massives par les pairs n'est plus possible. Un nouveau métier apparaît : le certificateur de données. Ces certificateurs sont des ingénieurs organisés en bureaux d'étude. Le processus de soumission d'un article nécessite au préalable un certificat de validité des pipelines de données, des algorithmes... utilisés pour acquérir et analyser les données

Composante : Interactions de l'ESR avec la société

Variable 4.1. Place ESR dans son écosystème

✚ Définition

Cette variable décrit les interactions pertinentes vis-à-vis de la transition numérique qui concernent les relations entre le monde académique de l'ESR et les acteurs extérieurs. Le numérique impacte-t-il la richesse, la diversité de l'écosystème de l'ESR et la nature des liens entre ces communautés ? Qui sont ces acteurs externes à l'ESR ? Quels sont les acteurs participant à la chaîne d'innovation économique, sociale et environnementale ? De quelle manière interagissent-ils ? La variable étudie également les relations entre producteurs de connaissances, fournisseurs de services et innovateurs. Qu'en est-il de la vision diffusionniste qui cloisonne les différentes activités de recherche et développement ? Par ailleurs, cette variable s'intéresse aux partenariats avec des acteurs privés (entreprises) ou de la société civile (associations, ONG).

✚ Tendances lourdes

- Resserrement des liens avec le monde de l'entreprise pour favoriser l'innovation, notamment via des partenariats de recherche.
- Mise en place de stratégies de site pour renforcer les collaborations avec les acteurs territoriaux et accélérer le processus de R et D
- Tension entre recherche d'excellence et innovation/recherche appliquée
- Séparation de l'ESR et de la société civile

✚ Tendances émergentes et signaux faibles

- Implication plus forte des scientifiques dans le monde de la société civile non marchande, facilitée en partie par le numérique
- Des expériences de recherches participatives existantes.
- Des dynamiques de recherche et d'innovation qui s'accroissent avec les technologies numériques et de nouveaux dispositifs, partenariats territoriaux.

+ Hypothèses d'évolution

Hypothèse 1

Raccourcissement des délais entre la recherche et sa mise en pratique au service de la société marchande ou non marchande

Le cycle recherche/innovation s'accélère et est plus intégré au marché. Beaucoup d'innovations se développent, elles sont co-conçues avec les utilisateurs, et leurs impacts ne sont pas évalués a priori. Les innovations, y compris les services numériques, sont diffusées sans réflexion préalable sur leurs implications, et sans phase d'expérimentation.

Hypothèse 2

Intégration entre le cycle de recherche-innovation et les enjeux des territoires

Le cycle de recherche-innovation est très intégré dans les territoires afin de traiter d'enjeux de bien-être territorial et de développement durable dans un contexte de changement global. Plus d'acteurs participent au processus d'innovation ; plus de communautés d'utilisateurs différentes sont intégrées au processus d'innovation qui comprend des phases d'expérimentation territoriale. Le numérique est un catalyseur pour produire du bien commun et répondre aux objectifs de développement durable. L'expérimentation territoriale est couplée à de la modélisation afin de travailler sur la reproductibilité et la transférabilité des connaissances entre les territoires, ce qui permet une internationalisation de la recherche.

Hypothèse 3

Décorrélation entre l'ESR et les intérêts privés

Face au foisonnement de demandes, il y a un décalage entre le temps des débats sociétaux et le temps de la recherche. L'ESR fait le choix de se reconcentrer sur son cœur de métier, assume le temps long et laisse le secteur privé répondre aux questions de court terme.

Variable 4.2 L'ESR et les médias

+ Définition

Cette variable décrit en quoi le numérique modifie les moyens de communication en général et les relations entre l'ESR et les médias, et comment ces interactions structurent les relations sciences-société (présentation publique des institutions scientifiques, des résultats de la recherche, organisation de la relation des institutions et des scientifiques aux publics de la recherche, influence du public sur les orientations de recherche). Ici, les médias sont considérés au sens large allant des réseaux sociaux tels que Facebook jusqu'aux médias conventionnels.

+ Tendances lourdes

Depuis les 30 dernières années, la tendance est au dépassement du paradigme du déficit. A la communication classique unidirectionnelle et par des médias classiques, viennent s'ajouter :

- Une plus grande diversité de formes de communication plus vivantes, multimédia, interactives
- De nouveaux modes de communication qui permettent le dialogue.

+ Tendances émergentes et signaux faibles

On voit l'émergence du paradigme de la participation qui suppose l'engagement de tous les acteurs dans toutes les étapes de la production de connaissances. A termes, on aurait la collaboration d'acteurs hors ESR dans des activités qui avait lieu auparavant dans les coulisses de la recherche et de l'enseignement supérieur.

+ Hypothèses d'évolution

Hypothèse 1 :

Communication individualisée

Les enseignant-chercheurs et chercheurs s'investissent à titre individuel et de façon systématique dans les nouveaux médias pour augmenter leur notoriété et celle de leur laboratoire. Les services de communication institutionnels sont court-circuités. Certains enseignant-chercheurs ou chercheurs deviennent des « influenceurs ».

Hypothèse 2 :

Personnification de la communication institutionnelle

Le service communication s'empare pleinement des médias numériques et des façons de communiquer du moment pour gérer l'image de l'institution. La starification de certains individus avec un storytelling faisant appel aux émotions autour de leurs recherches est un moyen de communication très usité. Cette starification ne profite pas à toutes les thématiques.

Hypothèse 3 :

Impuissance de l'ESR face aux réseaux sociaux

Des groupes concernés exercent une pression médiatique au travers des réseaux sociaux et l'ESR est en incapacité de réagir efficacement. Des domaines entiers de recherche ciblés par ces médias sont fragilisés et certains disparaissent.

Variable 4.3. Evaluation de l'ESR par la société

+ Définition

Cette variable décrit en quoi le numérique influence l'évaluation de l'ESR par la société. Est-ce que par exemple le numérique modifie les poids respectifs des diverses sources d'évaluation : classement internationaux ; évaluation de l'ESR de la part des financeurs, des pairs et/ou des apprenants ; notation internet ; mesure de l'utilisation et de l'utilité de l'ESR ?

+ Tendances lourdes

Des acteurs hors ESR ont de plus en plus un droit de regard sur l'évaluation de l'ESR qui pourrait aller jusqu'à la participation à la définition des orientations de recherche et à la formulation de nouvelles questions posées à la recherche.

Tendances émergentes et signaux faibles

L'ESR s'ouvre de plus en plus au dialogue avec la société et à son implication dans certaines activités de l'ESR, mais pas trop dans l'évaluation.

Hypothèses d'évolution

Hypothèse 1 :

Dialogue avec la société via des médiateurs et des tiers de confiance

Sous l'influence de groupes concernés, la société civile *via* les réseaux sociaux, s'empare de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement et promeut des domaines spécifiques (ex : gestion des déchets nucléaire, bien-être animal, changement climatique). Afin de dialoguer avec la société, l'ESR met en place des médiateurs et développe la reconnaissance du tiers de confiance qui peut contrebalancer l'effet des infos ou entrer en dialogue avec des sources alternatives.

Hypothèse 2 :

L'ESR se coupe de la société

L'ESR se coupe de la société et se réfugie derrière les orientations définies par les tutelles et les partenariats privés, maintenant un équilibre entre la recherche et les modules d'enseignement fondamentaux et finalisés.

Hypothèse 3

La société civile : partenaire institutionnalisé de l'ESR

Dans le but de renforcer les liens entre société civile et ESR, on assiste à une accentuation de la participation des groupes concernés dans les instances classiques d'évaluation (ANR, HCERES...).

Hypothèse 4

Des groupes concernés évaluent et orientent l'ESR

On assiste à une montée en puissance de groupes concernés organisés grâce aux plateformes ou autres médias numériques qui développent un scoring généralisé dans l'enseignement et la recherche. Ces groupes, tels que le téléthon, des fondations, ou encore des communautés de *crowdfunding*, évaluent et orientent la recherche. Ce système engendre des domaines orphelins, démunis de financements. De la même façon, les étudiants évaluent l'enseignement, et ne suivent pas (ou ne payent pas dans le cas du privé) certaines formations qu'ils jugent obsolètes et en promeuvent d'autres (par exemple avec scoring par les apprenants).

Composante : Ethique et cultures numériques dans l'ESR

Variable 5.1. Education numérique des chercheurs, enseignants-chercheurs

Définition

Cette variable concerne le rapport au numérique des chercheurs et des enseignants dans leurs pratiques : capacité à mobiliser de nouveaux outils numériques dans leurs pratiques (encapacitation), à faire évoluer leurs méthodes en intégrant des outils numériques, mais également à s'orienter dans un environnement numérique changeant et saturé de flux d'informations (accélération liée à l'intensité des échanges ; surcharge d'informations ...).

Tendances lourdes

- Une appropriation individuelle rapide et massive des premiers outils de communication numérique.
- Une adhésion plus lente aux réseaux sociaux, à usage à la fois individuel et institutionnel
- La révolution numérique de la publication scientifique.
- L'acquisition de compétences numériques et la transformation de métiers existants.
- Malgré la professionnalisation et l'institutionnalisation de l'éducation aux usages numériques, l'encapacitation reste très variable.

Tendances émergentes et signaux faibles

- Adhésion à la culture de l'ouverture.
- Un besoin croissant de maîtrise des outils numériques de communication auprès du grand public.
- Un besoin criant de réflexivité sur les usages numériques.

Hypothèses d'évolution

Hypothèse 1

Adaptation pro-active au numérique

Face à l'accélération du pas de temps et de l'arrivée de toujours plus d'outils associés au numérique dans l'enseignement et la recherche, il y a une prise de conscience des risques psycho-sociaux. Les chercheurs et enseignant-chercheurs acceptent ces évolutions mais de manière non passive. On développe des pratiques pour vivre avec l'évolution numérique en bonne intelligence. Les enseignant-chercheurs et les chercheurs engagent une réflexion permanente sur ce sujet et développent des pratiques ou compétences d'usages au-delà de

la simple compétence technique. Cela permet de concilier la nanoseconde des outils électroniques et des réseaux avec le temps long de la science.

Hypothèse 2

Adaptation passive au numérique

Le numérique prend un rôle central dans la recherche et dans l'enseignement, les TIC deviennent un passage obligé et tous les enseignant-chercheurs et chercheurs doivent entretenir leurs compétences en la matière. Il s'agit donc d'une acculturation subie. Le positionnement des enseignants et des chercheurs est passif face à cette évolution qui prolonge une tendance en cours déjà en 2018. Les enseignant-chercheurs et chercheurs sont présents dans les réseaux sociaux et ils maîtrisent les outils, mais ils n'anticipent pas les transformations et ne sont pas pro-actifs dans ce domaine. L'accélération du changement technologique crée un univers instable où la veille et l'accompagnement sont nécessaires pour rester à flot.

Hypothèse 3

Tension entre la culture de l'ouverture et la culture propriétaire

Les chercheurs sont partagés entre le souhait de mettre à disposition les données et logiciels et l'intérêt d'en garder la propriété et le contrôle : est-ce qu'il vaut mieux conserver ses données dans son giron pour mieux les exploiter, ou bien les partager ? Comment maîtriser le fonctionnement des algorithmes dont nous ne sommes pas auteurs ? Dans quels cas un logiciel propriétaire payant coûte moins cher et s'avère plus efficace qu'un logiciel à code source ouvert ? Avec quelles conséquences sur la maîtrise du système ? Nos choix seront-ils techniquement réversibles ? Les données sont-elles transférables et pérennes ?

Variable 5.2. Place du scientifique et de l'enseignant dans la société

Définition

Cette variable concerne la manière dont évolue la relation entre la production de connaissance et le statut social du scientifique ou de l'enseignant. Il s'agit d'examiner la manière dont les scientifiques et les enseignants sont perçus en termes de détenteurs d'un savoir, ou producteurs de sciences dans la société. Comment la connaissance du chercheur statutaire ou de l'enseignant peut être contestée par l'amateur, ou par les praticiens ? Il s'agit de reconsidérer le statut d'une science à production centralisée, et l'émergence de la figure de l'amateur éclairé, ou du praticien, via le numérique (continuum entre amateur éclairé et chercheur). Il s'agit aussi de s'interroger sur l'évolution des modalités de diffusion et la transmission de la connaissance par l'enseignant dans un environnement numérique où d'autres acteurs (praticiens, amateurs, étudiants) transmettent des connaissances ou des savoirs en mobilisant les outils numériques.

Tendances lourdes

→ La remise en cause de l'autorité scientifique du chercheur et de l'enseignant.

Tendances émergentes et signaux faibles

- L'affirmation de la figure de l'amateur et les sciences participatives.
- L'émergence des communautés de pro-am sur l'internet, des frontières plus floue entre chercheurs, enseignants et amateurs.
- La capacité des machines à transformer la relation maître-élèves, enseignant-apprenant.

Hypothèses d'évolution

Hypothèse 1

Symbiose entre enseignant-chercheurs, chercheurs et acteurs de la société civile

Il y a un effacement des frontières entre les pro-ams et les pros et une requalification profonde du rôle de l'enseignant statutaire. Les acteurs du monde académique et les acteurs de la société civile coopèrent et effacent les frontières. Le numérique permet une symbiose entre chercheurs institutionnels et chercheurs amateurs via des plateformes de recherche. Dans l'enseignement, le rôle de l'enseignant est d'accompagner des acteurs divers et de fournir du contenu de formation.

Hypothèse 2

L'intelligence artificielle : nouvel enseignant-chercheur

L'essentiel des différentes tâches effectuées usuellement par les chercheurs et enseignant-chercheurs est désormais effectué par l'intelligence artificielle. L'IA permet d'écrire les projets scientifiques et les publications mais également de les évaluer. Au niveau de l'enseignement, l'IA gère les contenus des formations proposées aux apprenants. Les métiers de chercheurs et d'enseignant-chercheurs consistent à produire des données pour alimenter l'IA, ce qui les disqualifie auprès de la société.

Hypothèse 3

Compétition entre monde académique et nouveaux acteurs

Les enseignant-chercheurs et chercheurs institutionnels entrent en compétition avec divers acteurs non académiques tels que lanceurs d'alertes, militants, leaders d'opinion et autres groupes de pression qui basent leur légitimité sur leur grande visibilité grâce notamment aux réseaux sociaux.

Variable 5.3. Circulation des enjeux éthiques entre l'ESR et la société

Définition

Cette variable traite de la circulation des enjeux éthiques entre l'ESR et les acteurs (non-ESR) de la société. Elle concerne (1) la manière dont les enjeux éthiques remontent de la société vers la recherche et l'enseignement supérieur [et la manière dont les technologies numériques accélèrent cette circulation des questions / « problèmes publics » (ex. L214)], (2) la manière dont des enjeux éthiques remontent de la recherche vers la société par exemple via les lanceurs d'alerte, et (3) la façon dont s'organisent ces interactions.

Tendances lourdes

- Une revendication d'implication de la société dans les débats éthiques et les choix scientifiques et techniques.
- Une structuration des citoyens dans des communautés à impact croissant dans les débats sur les enjeux éthiques de la recherche.
- Le développement des sciences et recherche participatives.
- Sensibilisation accrue des citoyens aux questions éthiques.
- Structuration via internet de communautés de citoyens éclairés et/ou militants autour d'enjeux éthiques.
- Augmentation de la visibilité des revendications et des interventions citoyennes dans les débats éthiques grâce aux médias numériques.
- Institutionnalisation des sciences participatives.
- Plus grande prise en compte des enjeux éthiques par les chercheurs et enseignants.

Tendances émergentes et signaux faibles

- Poids politique croissant des communautés citoyennes.
- Un mouvement de cloisonnement communautaire, favorable aux infox, et intensifié par internet.

Hypothèses d'évolution

Hypothèse 1

Absence de dialogue entre de nombreux groupes pro ou anti et le monde académique

Les groupes de la société civile porteurs d'enjeux éthiques se multiplient ainsi que leur influence. Face à une multitude de pressions souvent contradictoires, dont de multiples lois et règlements se font l'écho, les enseignant-chercheurs et les chercheurs se déconnectent de plus en plus des enjeux sociétaux, ne participent pas au dialogue autour des enjeux éthiques, et continuent leurs activités en vase clos.

Hypothèse 2

Coopération science-société

La société est organisée en groupes de porteurs d'enjeux qui jouent un rôle d'alerte et de proposition de recherche et permet une coopération autour de questions éthiques. Les porteurs d'enjeux éthiques sont organisés sur des plateformes web, ont développé des outils de communication, et leurs actions induisent des réorientations de la recherche et de l'enseignement. Cela permet à l'ESR de rester en phase avec l'évolution de la société. Les nouveaux groupes de plaidoyer interagissent constructivement avec la science et constituent des contrepouvoirs utiles au traitement d'enjeux communs.

Hypothèse 3

Méfiance envers la sphère publique

Associé à une vague populiste, tout ce qui émane des institutions publiques, y compris la recherche et l'enseignement supérieur publics, perçu comme *establishment*, est rejeté. En parallèle et dans cette même mouvance, la société civile adhère à des thèses produites par de nouveaux acteurs de la sphère marchande, façon Elon Musk ou leaders d'opinion de la Silicon Valley. Des promesses technologiques séduisantes, issues d'un populisme scientifique, occultent les enjeux éthiques associés à ces promesses.

Hypothèse 4

Régulation étatique de la collecte et de l'usage des données

En l'absence de coopération et de prise en compte des enjeux éthiques posés par le numérique, les Etats sous la pression de la population mettent en place des réglementations de plus en plus strictes sur la collecte et l'usage des données. Ces réglementations freinent et limitent l'usage des données massives par la recherche.

Variable 5.4. Statut juridique des données et des contenus à des fins de recherche et d'enseignement

+ Définition

Cette variable concerne les réglementations et le statut juridique des données, et les droits d'auteurs (concernant les contenus d'enseignement et les publications des chercheurs). L'enjeu porte sur la protection des données personnelles, et la possibilité d'une conciliation de cette protection des données avec leur usage par la recherche. Cette variable traite également des droits d'auteur, et notamment de la possibilité de réutiliser les contenus d'enseignements (traçabilité du droit d'auteur).

+ Tendances lourdes

- Ouverture des données publiques, création d'un service public de la donnée ; développement de l'économie du savoir et de la connaissance.
- Nouveaux droits en matière de données personnelles et d'accès aux services numériques
- Accessibilité aux services numériques publics, accès au numérique par les personnes handicapées, garantie du droit au maintien de la connexion pour les personnes les plus démunies.
- Adoption de la nouvelle réglementation sur la protection des données personnelles par l'Union européenne

+ Tendances émergentes et signaux faibles

- Gouvernance de la donnée nécessaire : Le *data management plan* est un outil désormais imposé dans le cadre de projets européens
- Pour certains juristes, à force d'exceptions au principe du droit d'auteur, c'est le droit d'auteur lui-même qui pourrait finir par devenir l'exception.
- Une « nouvelle espèce » est apparue : celle des robots à laquelle le droit doit s'adapter. Voitures autonomes, drones, robots industriels, de compagnie, de soins...

+ Hypothèses d'évolution

Hypothèse 1 :

La généralisation d'un service public de la donnée

En France, les programmes d'ouverture des données des différentes structures et organisations publiques ou privées sont généralisés. C'est le prolongement de la loi sur la République numérique qui désormais s'applique à tous les secteurs d'activités tant public que privés sur le principe par défaut que les données n'ont pas de statut juridique et sont

libres de droit et doivent pouvoir être disponibles. Ce principe d'ouverture et mise à disposition par défaut réduit drastiquement l'application du droit d'auteur dans son exploitation patrimoniale et son droit moral. La seule possibilité pour les structures de ne pas ouvrir leurs données et de contractualiser avec des producteurs et des réutilisateurs afin de faire barrage au principe d'ouverture par défaut. Cette politique est accompagnée par un grand mouvement international d'ouverture des données, et d'innovation ouverte qui favorise incontestablement la création de valeur dans beaucoup de secteurs économiques. La conséquence est que la paternité des innovations et les brevets sont gravement remis en cause. Quelques exceptions juridiques importantes subsistent : les données personnelles ou les données classées en catégorie « défense nationale », mais sont fortement bousculées en raison du potentiel économique que leur ouverture représenterait.

Hypothèse 2

Une donnée ouverte à 2 vitesses

La politique de donnée ouverte est initiée et portée au niveau étatique mais n'est pas très contraignante et est juste incitative. Cependant, les producteurs de données des différents secteurs économiques estiment que la donnée ouverte n'est pas compatible avec leurs intérêts financiers, de même la politique de donnée ouverte de certaines agences gouvernementales est développée *a minima* sous prétexte que la valeur commerciale de certaines données doit être développée. Ce développement de la donnée ouverte à deux vitesses est possible car le statut juridique des données spécifiques n'existe toujours pas réellement et que beaucoup d'interprétations juridiques du juge lors d'affaires d'exploitation commerciale de certaines données versus la donnée ouverte, ont donné raison au développement économique de certaines données et de l'octroi de redevances ou de royalties malgré la loi sur le service public de la donnée ouverte. Ces producteurs utilisent toutes les dispositions juridiques existantes (droit d'auteur / secret des affaires/...) et leurs pratiques bloquent la généralisation de la donnée ouverte de façon durable, d'autant plus qu'au niveau international, le mouvement de l'ouverture n'est pas généralisé et qu'il existe des pays réfractaires (Chine...). Même si un cadre juridique pour la protection des données à caractère personnel est défini en Europe, l'accès aux données et à la protection des données à caractère personnel et de la vie privée n'est pas protégé en dehors de l'Europe. Les communications des applications et des appareils entre eux et avec des bases de données sans intervention humaine continuent de susciter une défiance importante des citoyens sur l'exploitation des données.

Composante : Contexte : société, économie et politique

Variable 6.1 Sensibilisation aux défis environnementaux

Définition

Cette variable traite de la prise en compte des considérations environnementales par la société (écologie, sécurité alimentaire, bien-être animal, énergie, changement climatique, etc.) et leurs impacts sur le développement du numérique. De plus, un point sur la gestion/utilisation des ressources sera traité dans cette variable (par exemple : tension entre une priorité donnée à la question énergétique et le développement d'infrastructures énergivores ; lien changement climatique et infrastructures numériques...).

+ Tendances lourdes

- Les populations sont de plus en plus sensibles à l'environnement
- Les ressources de terre rare se raréfient
- Il y a une obsolescence des appareils numériques avec une consommation énergétique associée exacerbée

+ Tendances émergentes et signaux faibles

- Pénuries de terres rares
- Retour au local, besoin de déconnexion au numérique et de connexion à la terre

+ Hypothèses d'évolution

Hypothèse 1

Retour aux (re)sources

Les ressources (terres rares, énergie...) s'épuisent et les technologies numériques développées précédemment ne sont plus viables. Par manque d'anticipation, le recyclage des matériaux ne peut se faire de manière efficace suffisamment rapide pour que la société puisse continuer ses pratiques numériques. De plus, les citoyens tiennent compte de l'environnement et essaient de limiter leur impact sur la biosphère. Il y a un retour au low tech (ex: faire appel à un minimum de technologie et ayant un impact minimal sur l'environnement).

Hypothèse 2

Anticipation de la raréfaction des ressources par l'ESR

Afin d'anticiper la raréfaction des ressources, des pans de recherche sont développés pour remplacer/recycler les terres rares, développer des technologies numériques sobres, utilisant peu d'énergie. L'ESR s'empare de l'urgence environnementale pour trouver des solutions durables.

Hypothèse 3

Un plan Marshall de l'environnement

Face aux enjeux stratégiques de la gestion des ressources, l'Etat donne d'énormes moyens à la recherche pour trouver des solutions. L'ESR propose des solutions à l'état qui dicte les grands choix stratégiques et tactiques à la société. C'est un retour à la planification.

Variable 6.2 Le numérique dans la société

+ Définition

Cette variable traite de la construction du rapport social aux outils numériques, celui-ci se construisant au travers des transformations des relations sociales induites par le développement du numérique. Comment les outils numériques reconfigurent le lien social, transforment les sociabilités ? Elle est associée à l'idée de démocratie numérique, à d'éventuelles limites et régulations institutionnelles posées au développement du numérique, et aux comportements et à la sensibilité de la société vis-à-vis de l'information (infobésité, accélération, dépendance et maîtrise) et des outils associés au numérique. Cette variable

concerne également les capacités d'analyse critique de l'information, et en particulier le rapport du public aux sciences et aux connaissances dans un environnement numérique.

Tendances lourdes

- Les écarts entre populations se réduisent en ce qui concerne l'accès à internet
- Les populations les plus vulnérables peuvent bénéficier des outils numériques pour se sociabiliser
- Des médecins alertent sur le potentiel nocif des écrans sur le développement des enfants, dès lors que leur usage est abusif
- Les politiques publiques visent à numériser l'ensemble des services publics d'ici 2022
- Infobésité généralisée
- Le multitasking et les nouveaux moyens de communication permis par les outils numériques engendrent un stress des employés
- Le droit à la déconnexion est rentré dans la législation.
- Le numérique permet la diffusion d'informations avec une rapidité et une audience potentielle jamais égalées
- La critique de l'information devient primordiale
- Le numérique et les plateformes permettent aux citoyens de s'organiser en collectif plus facilement

Tendances émergentes et signaux faibles

- Rejet ou refus du numérique de certaines populations

Hypothèses d'évolution

Hypothèse 1

Une société adulte vis-à-vis du numérique

La phase de transition et d'acculturation au numérique est terminée. La société a développé des usages des outils numériques qui sont partagés par tous et lui ont permis de se dégager de l'asservissement digital (accélération, baisse du temps d'attention, éparpillement, surcharge cognitive liée à l'infobésité etc). Le droit à la déconnexion est devenu un droit fondamental, inscrit dans la loi, respecté, et fixant des limites entre vie professionnelle et personnelle. Les entreprises ont rédigé et font respecter des règles sur l'usage de la messagerie, du téléphone professionnel, des réunions à distance. Les citoyens ont développé un esprit critique sur la façon de vérifier l'origine des informations diffusées sur le web. L'engouement pour les réseaux sociaux est toujours présent, mais les internautes ont pris de la distance, ont appris à gérer leurs informations personnelles et à réguler les échanges sur les forums.

Hypothèse 2

Le numérique, vecteur de transformations du lien social

Le numérique apprivoisé est une nouvelle donne positive dans les relations sociales. Il permet non seulement de raccourcir les distances et le temps, d'informer en temps réel, de former des groupes de discussion et de partage autour d'intérêts communs, mais également de tisser du lien social. Grâce à la domotique, à la télémédecine et aux outils de communication numérique, les personnes âgées peuvent rester plus longtemps à leur

domicile et sont moins isolées. Avec la généralisation du réseau haut débit, le télétravail se démocratise, les campagnes se désenclavent et sont réinvesties. Des collectifs se créent autour d'idées ou de projets de société et rapprochent des acteurs qui n'auraient pas eu l'opportunité de se rencontrer dans la vie réelle du fait de l'éloignement géographique ou social, et entraînent un renouveau de l'engagement politique. Ils constituent de véritables contre-pouvoirs pourvoyeurs d'informations alternatives et jouant le rôle de lanceurs d'alerte.

Hypothèse 3

Rejet généralisé du numérique

La régulation des usages ne s'étant pas faite, les outils numériques ont altéré de façon notable les fonctions cognitives et physiologiques humaines (baisse de l'attention et de la mémoire, stress, perte du sens critique, surcharge cognitive, addiction aux outils numériques, perte du sommeil) et la relation aux autres (isolement, focalisation sur son image virtuelle en ligne au détriment de sa personnalité réelle, difficultés à interagir dans le réel, souffrance liée au harcèlement en ligne, utilisation sauvage des données personnelles etc). De ce fait, la société a rejeté globalement le numérique dont les usages sont strictement encadrés par la loi et limités à des domaines bien spécifiques.

Hypothèse 4

2984 : Utilisation du numérique pour le contrôle des masses

Les outils numériques sont employés de façon systématique pour contrôler tous les citoyens, à l'échelle individuelle et collective. Cyber Big Brother is watching you : toutes les activités en ligne sont tracées, les relations analysées, les opinions politiques enregistrées par l'Etat et des entreprises privées et donnent lieu à un scoring individuel. On accède à plus ou moins de services et d'opportunités selon son score. La liberté d'opinion disparaît, les échanges en ligne sont soumis au politiquement correct sous peine de sanctions.

Variable 6.3 L'économie numérique

✚ Définition

L'économie numérique est une expression qui couvre des réalités très différentes selon les auteurs, d'autant que cette dénomination a évolué au cours des années : nouvelles technologies, nouvelle économie, technologies de l'information et de la communication, économie électronique. On peut la définir comme regroupant les entreprises qui produisent des biens et services supportant le processus de numérisation de l'économie. Elle englobe les activités économiques et sociales qui sont activées par des plateformes telles que les réseaux internet, mobiles et de capteurs, y compris le commerce électronique. Elle ne se limite donc pas à un secteur d'activités en particulier. Certains secteurs sont apparus avec le développement technologique et ne recouvrent pas simplement des activités qui utilisent les nouvelles technologies dans le seul but d'accroître leur productivité : il en est ainsi du commerce électronique et des services en ligne qui sont des acteurs centraux de l'économie numérique.

Dans la statistique publique, l'économie numérique est assimilée aux technologies de l'information et de la communication (TIC), et en particulier aux secteurs producteurs. Selon l'OCDE et l'Insee, le secteur des TIC regroupe les entreprises qui produisent des biens et services supportant le processus de numérisation de l'économie, c'est-à-dire la transformation des informations utilisées ou fournies en informations numériques (informatique, télécommunications, électronique).

Tendances lourdes

→ Le numérique impacte l'ensemble de l'économie. Tous les secteurs sont concernés et plus seulement le secteur des services.

→ La « plateformisation » de l'économie est engagée depuis de nombreuses années entraînant des conséquences sur la production, la relation clients, les échanges.

Tendances émergentes et signaux faibles

L'impact de la blockchain : les échanges devenant totalement numérisés pourraient être certifiés et les opérations entourant les échanges pourraient être gérés automatiquement et en confiance grâce aux *smart contracts*. En résumé, l'économie pourrait en partie être programmable.

Hypothèses d'évolution

Hypothèse 1

Généralisation de la plateformisation et développement de la blockchain pour garantir la transparence et la confiance

La plateformisation se généralise à l'ensemble des secteurs d'activités, et impose de nouveaux rapports au travail, de nouvelles médiations et de nouveaux usages. Ces phénomènes se traduisent par de la désintermédiation et de la ré-intermédiation dont l'enjeu est la redistribution de la valeur ajoutée. Celle-ci est concentrée essentiellement vers la plateforme provoquant la reconstruction de monopoles que la plateformisation était censée casser. La productivité et la relation au travail se retrouvent transformées avec pour certains emplois une grande autonomie de création dans les activités et pour d'autres, un processus d'automatisation de tâches qui recréent une forme de taylorisme numérique. La *blockchain* se développe fortement car elle permet de sécuriser les échanges (marchands, économiques, statut juridique, diplôme) et d'instaurer une nouvelle forme de confiance et de transparence.

Hypothèse 2

Le numérique fonde un nouveau modèle économique non basé sur le capitalisme

L'économie numérique permet le développement de modèles économiques décentralisés sans domination d'un acteur, ou d'un groupe d'acteurs, économiques. L'outil numérique permet le développement d'une économie alternative, décroissante, qui essaie de ne pas se fonder sur le modèle classique capitaliste. Parallèlement, la « contre-culture » prospère et avec la rareté des ressources et les problématiques environnementales, le troc, les échanges de biens et de services se développent fortement (exemple : Système d'échanges locaux).

Hypothèse 3

Renforcement des oligopoles de l'industrie numérique qui drainent toute l'économie mondiale

Les oligopoles numériques mondiaux, imposés d'abord par les USA (avec les GAFAM) puis la Chine (Baidu, Alibaba), dictent leur régime économique à tous les secteurs d'activités et drainent l'ensemble des revenus économiques. Cette situation

ne permet pas le développement d'une économie numérique européenne et française.

Hypothèse 4

L'Europe numérique souveraine

Une Europe souveraine pilote l'économie européenne en développant ses infrastructures et capacités numériques. L'Europe se révèle capable de développer des outils numériques assurant son indépendance et sa souveraineté numérique (moteurs de recherche, plateformes, centres de stockage, ressources européennes).

Variable 6.4 Politique et acteurs du numérique

+ Définition

Cette variable traite de l'équilibre du pouvoir entre les acteurs du numérique mondiaux et les autres acteurs tels que les politiques nationales, les PME/TPE, et la société civile, concernés par le numérique. De plus, elle s'intéresse à la distribution et à l'équilibre des pouvoirs entre les acteurs privés et publics.

+ Tendances lourdes

→ Beaucoup d'acteurs dont les rôles ne sont pas encore définis

→ Un petit nombre d'acteurs économiques géants

→ Une multitude de petits acteurs économiques

→ Une multitude d'acteurs-contributeurs

→ L'ESR est à la fois utilisateur des ressources numériques et producteur d'outils, d'infrastructures, de données et de connaissances, potentiellement un acteur important de l'innovation autour du numérique

→ La sphère étatique se comporte actuellement de 3 manières différentes :

- Tenter d'avoir une maîtrise complète des ressources numériques (cas de la République populaire de Chine?).
- Laisser faire (cas de l'Etat US ?), et dans ce cas, prendre le risque que la puissance et les intérêts commerciaux priment sur les questions d'accès, neutralité, qualité, et protection des utilisateurs ou contributeurs.
- Adopter une voie médiane (Henri Verdier, intervention Prosper 2018) en régulant l'économie et la politique du numérique sans la contrôler.

+ Hypothèses d'évolution

Hypothèse 1

Gouvernance autonome d'une multitude de communautés

Avec l'entrée des GAFAM dans tous les secteurs et face à la possibilité d'une surveillance de masse, le sens critique s'accroît, des communautés issues de la société civile se coordonnent. Elles organisent des boycotts, créent des contre-pouvoirs, et, au final, s'autogouvernent [hypothèse inspirée du scénario « Self-service Governance » imaginé par Misuraca *et al* (2012)].

Hypothèse 2

Gouvernance par le numérique commercial

Les GAFAM poursuivent leur montée en puissance. Ils captent de plus en plus de fonctions telles que la gestion des catastrophes, auparavant réservées aux gouvernements. Des systèmes de modélisation et d'aide à la décision sont appliqués à la décision et à l'élaboration de politiques publiques. Leur efficacité s'accompagne d'une dépolitisation généralisée. En 2040, certaines fonctions régaliennes sont gérées par les grands acteurs économiques du numérique [hypothèse inspirée du scénario « Privatised Governance » imaginé par Misuraca *et al* (2012)].

Hypothèse 3

Régulation et coordination européenne et citoyenne

Avec la mondialisation des effets du numérique, le niveau national n'est plus pertinent. C'est donc le pouvoir européen qui impose de nouvelles conditions sur les GAFAM permettant de réguler le secteur du numérique pour le bien commun. L'Europe favorise des systèmes décentralisés mais coordonnés, et des systèmes d'évaluation des impacts des politiques et basés sur la participation citoyenne [hypothèse inspirée du scénario « Open governance » imaginé par Misuraca *et al* (2012)].

Composante : Organisation institutionnelle de l'ESR

Variable 7.1. Structuration des organisations

✚ Définition

Cette variable décrit en quoi et comment le numérique transforme l'organisation de l'ESR en termes de structures, fonctions et répartition des pouvoirs et des responsabilités. Est-ce que le numérique modifie les structures hiérarchiques (pyramidales, horizontales ou autres) ? Elle traite aussi des conséquences de l'organisation de l'ESR sur les niveaux d'interactions et les flux de connaissances en son sein.

✚ Tendances lourdes

- Hybridation des trois formes d'organisation : Organisation par projet, organisation classique (combinaison de gouvernance verticale et horizontale), et organisation en réseau
- Une montée en puissance des financements par projets qui modifie la structure des organisations classiques
- Importance des réseaux individuels dans le fonctionnement des laboratoires

✚ Tendances émergentes et signaux faibles

- Apparition de nouvelles formes d'organisation en réseau, horizontale et sans centralisation
- Distribution des décisions

+ Hypothèses d'évolution

Hypothèse 1

Pôles de compétence et territorialisation

Les instituts se reconfigurent autour de pôles de compétences. On assiste à une territorialisation de la recherche. Les relations de proximité spatiale sont développées pour favoriser les interactions, notamment avec les acteurs territoriaux. De grands *research centers* se forment et le numérique est utilisé pour les collaborations à l'intérieur de cette communauté avec l'intranet, le partage permanent d'outils, de plateformes et de résultats. Les réseaux de recherche mis en place sont autocentrés sur chaque *research center*.

Hypothèse 2

Généralisation des laboratoires virtuels

Grâce au numérique, les laboratoires virtuels remplacent les laboratoires physiques. Les plateformes prennent de l'importance et leur pilotage se fait à distance. Les chercheurs travaillent de chez eux ou à partir de centres de *co-working*. Cette organisation par laboratoires virtuels, souple et dynamique, est associée à la prépondérance du mode de financement par projet de recherche de courte durée.

Hypothèse 3

Coexistence de réseaux et d'institutions formelles

La fusion des instituts et des écoles continue dans le but de maintenir une compétitivité internationale. L'organisation par projet et par réseaux se développe aux côtés de l'organisation institutionnelle classique. On a donc un mixe de modes d'organisation mêlant projets, réseaux informels et hiérarchie verticale.

Variable 7.2. Pilotage et stratégie

+ Définition

Sous l'influence du numérique, les stratégies et le pilotage de la recherche peuvent être amenés à changer. Cette variable s'intéresse donc à l'évolution de la souveraineté et de la gouvernance (ex : centralisation, distribution des décisions) de l'ESR. Elle décrit également le paysage institutionnel (mise en place de nouvelles structures, plus de transversalité, internationalisation, etc...) et s'intéresse à la programmation (nature et durée) de la recherche (thématiques), et de l'enseignement supérieur. Comment est répartie la capacité d'orientation de la recherche et de l'enseignement entre les organismes publics de recherche et d'enseignement, les agences de financements, les fondations et les entreprises commerciales ?

+ Tendances lourdes

- Une partie du pilotage de l'ESR est transférée vers des structures dédiées.
- Incitation au regroupement local (clusters) et participation accrue dans le monde économique
- Environnement compétitif
- Montée en puissance du numérique en tant que thématique (*sciences de la donnée*)

✚ Tendances émergentes et signaux faibles

→ Participation du secteur non marchand au pilotage de l'ESR

→ Prise en compte du numérique dans les stratégies institutionnelles (investissement dans la formation et les infrastructures, création de poste, organisation).

✚ Hypothèses d'évolution

Hypothèse 1

La donnée et les possesseurs des données pilotent la recherche et l'enseignement

La donnée est centrale et ceux qui disposent des données et des infrastructures permettant l'analyse et le stockage des données deviennent les pilotes de la recherche. Les recherches sont orientées vers les champs disciplinaires et/ou thématiques riches en données.

Hypothèse 2

L'IA pilote la recherche et l'enseignement

L'IA associée au *data mining* oriente et pilote la recherche sur la base de la prédiction des découvertes – des algorithmes évaluent et quantifient des indicateurs de productivité à venir. La compréhension des processus menant aux découvertes – issue de la « science de la science » – permet ces avancées.¹²

Hypothèse 3

#recherchecitoyenne

Des réseaux citoyens se constituent. Ces groupes issus de la société civile orientent et évaluent les programmes de recherche et l'enseignement. Les plateformes de type réseaux sociaux font remonter les sujets à traiter.

Variable 7.3. Métiers et compétences

✚ Définition

Dans le cadre de la transition numérique, il s'agit de décrire l'évolution des compétences et des métiers. Quel est le devenir des métiers actuels (chercheur, enseignant-chercheur, enseignant, documentaliste...) ? Est-ce que la transition numérique (TN) est liée à la création de nouveaux métiers dans l'ESR ? Impacte-t-elle la division des tâches, la répartition des temps et lieux de travail, et de l'étendue géographique de l'activité du chercheur/enseignant-chercheur ? Engendre-t-elle une disparition d'unité de lieu de l'ESR ? Est-elle accompagnée d'une exigence d'agilité accrue (ex : changer d'activité rapidement, créer des start-up) ?

¹² Voir : Clauzet A, Larremore DB, Sinatra R. 2017. Data-driven predictions in the science of science. *Science*, vol 355, Issue 6324 (477-480) DOI: 10.1126/science.aal4217

+ Tendances lourdes

- Des chercheurs enseignants chercheurs de plus en plus multitâches
- De nouveaux métiers apparaissent en lien avec les TICE et les nouvelles méthodes d'acquisition et de traitement en masse de données
- Une surabondance d'informations scientifiques et de publications dans un monde de plus en plus accéléré

+ Tendances émergentes et signaux faibles

- Perte de compétences et connaissances de l'ESR
- Refus des bibliothèques de payer les abonnements aux revues électroniques

+ Hypothèses d'évolution

Hypothèse 1

Flexibilité disciplinaire

Certaines disciplines disparaissent sous l'impact du numérique et les chercheurs et enseignant-chercheurs doivent faire preuve de plus de mobilité thématique, disciplinaire et géographique. La généralisation de la formation continue leur permet de se former tout au long de leur carrière et de s'adapter aux nouvelles techniques de recherche et d'enseignement supérieur. Tous les chercheurs intègrent les sciences de la donnée dans leur champ disciplinaire. Cette formation continue permet également une plus grande porosité entre les métiers de chercheurs et d'enseignants-chercheurs conduisant à des allers-retours dans les carrières entre l'enseignement et la recherche.

Hypothèse 2

Gestionnaire de projet

Enseignants et chercheurs sont des « start-uppeurs ». Ils deviennent de véritables gestionnaires de projets. Ils se forment à l'entrepreneuriat et doivent incorporer un modèle économique pour financer leurs activités de recherche et d'enseignement.

Hypothèse 3

Spécialisation accrue des métiers scientifiques

Après une première période d'augmentation du *multitask* dans le métier de chercheur provoquée par l'accélération liée au numérique, on assiste à une sectorisation de la recherche et à une division du travail. Les chercheurs se spécialisent : certains sont les concepteur-créateurs d'idées, d'autres deviennent des spécialistes de la rédaction de projet. Ils sont appuyés par des chercheurs « expérimentateurs », et des « spécialistes de traitement des données ». Un profil de « chercheur-rédacteur » permet de publier les résultats scientifiques. Le métier et le statut de chercheur tels qu'ils existaient en 2018 n'est plus de mise. L'attention est plus sur les micro-tâches que sur le développement d'une vision intégrative.

Variable 7.4. Modèle économique de l'ESR

+ Définition

Cette variable décrit le modèle économique de l'ESR, éventuellement sous l'influence du numérique. En outre il s'agit de décrire l'évolution des dotations de l'Etat, des financements provenant de l'Europe, des agences nationales et internationales de financement, du privé, et des activités commerciales (prestations de services par exemple) dans la stratégie (durée de vie des thématiques et des approches méthodologiques) et le fonctionnement de l'ESR. Il est également question de la contractualisation de l'ESR (des chercheurs, enseignant-chercheurs et des activités de recherches et d'enseignement).

+ Tendances Lourdes

→ Augmentation des financements privés dans les ressources propres de deux entités importantes de la recherche : l'INRA et le CNRS.

→ Diminution des budgets récurrents permettant le fonctionnement de l'ESR, de plus en plus ceux-ci ne servent qu'à payer les salaires et ne permettent donc plus de financer des projets de recherches.

→ Forte augmentation du poids de l'Europe dans la recherche

→ Financement de structures de recherche très grosses rassemblant des dizaines de laboratoires.

+ Tendances émergentes et signaux faibles

→ Baisse des financements de la recherche

→ Financement participatif pour des projets de recherche.

→ Vers une résistance des chercheurs aux modes d'évaluation actuel des projets de recherche

+ Hypothèses d'évolution

Hypothèse 1

Politiques publiques communes et plateformisation de l'enseignement

Les états européens et au-delà de l'Europe s'accordent sur une politique publique commune. Les agences nationales disparaissent au profit d'agences européennes et internationales. Concernant l'enseignement supérieur, il y a une généralisation de la plateformisation.

Hypothèse 2

Reconfiguration territoriale de la recherche publique et de l'enseignement supérieur

La recherche publique est préservée et largement financée. On assiste cependant à une restructuration et une territorialisation de la recherche. Au niveau national, seuls les pôles d'excellences de recherche sont financés. Les autres centres de recherche et les universités sont financés par les régions. Le reste de la recherche est également financé par les régions qui privilégient une recherche de proximité. L'enseignement supérieur est lui aussi territorialisé ; les enseignements proposés dans les universités sont fonction des recherches régionales. Seuls les pôles d'excellence de recherches forment les étudiants de niveau Master et doctorat. Une grande partie de l'enseignement supérieur est privatisée et subventionnée par des entreprises et fondations.

Hypothèse 3

Privatisation de la recherche et enseignement supérieur sous influence du secteur privé

La recherche devient privée. Les entreprises, fondations, associations et systèmes de crowdfunding financent la recherche. L'éducation supérieure reste publique mais les contenus sont influencés par le secteur privé et orientés selon les opportunités d'emploi. Les chercheurs, enseignant-chercheurs n'ont plus le statut de fonctionnaires car l'Etat se désengage de la recherche tout en conservant la gestion de l'enseignement supérieur qui, de fait, reste publique et accessible au plus grand nombre.

Hypothèse 4

L'Etat pilote la recherche et l'enseignement supérieur

L'Etat continue de financer les instituts de recherche et les établissements d'enseignement supérieur. Des agences nationales et européennes de la recherche sont largement financées par les Etats membres, ce qui permet à ces derniers de garder le contrôle des stratégies de recherche et d'enseignement supérieur.



Photo de couverture : d'après R. Delaunay, La fenêtre sur la ville no. 3, Wikipédia commons



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

