

Numérique et recherche environnementale : quelles évolutions ?

Par François JACQ

Président de l'alliance de recherche AllEnvi

et Benoît FAUCONNEAU

Secrétaire exécutif d'AllEnvi

La recherche environnementale est confrontée à des enjeux d'autant plus forts que les diverses transitions environnementales impliquent une approche systémique et qu'une attention particulière soit accordée aux interfaces et aux couplages. En regard, les sciences du numérique sont le support d'une compréhension de plus en plus fondée sur la modélisation, la maîtrise de la donnée et l'algorithmique. Les deux domaines s'interrogent mutuellement, se nourrissant de questions et d'approches partagées. Pour les prochaines années, enjeux et opportunités renvoient à un triptyque : la maîtrise des systèmes complexes et de leur représentation à des échelles multiples (temporelles comme spatiales) ; la réponse au défi de données proliférantes, difficiles à exploiter et à contrôler, mais aussi source de nouvelles perspectives ; et l'instrumentation de l'appui aux politiques publiques.

Empruntons à la météorologie deux instants clés de son histoire. Au tournant du XIX^e siècle, la flotte anglo-française subit en Crimée une sévère tempête qui l'affaiblit considérablement. Urbain Le Verrier, directeur de l'Observatoire de Paris, aurait alors proposé à l'Empereur Napoléon III la constitution d'un bureau de la météorologie susceptible de prévenir de telles catastrophes. Un suivi, de proche en proche, de la traversée du continent par la tempête eût en effet conduit, selon lui, à donner l'alerte (nous sommes alors à l'ère du télégraphe, celui-ci offrant une possibilité de circulation et de maîtrise de l'information⁽¹⁾).

Passons aux quarante dernières années. La prévision du comportement de l'atmosphère a connu des progrès spectaculaires, que l'on résume couramment en disant que la qualité des prévisions s'améliore d'une journée tous les dix ans. Le déclencheur réside cette fois dans l'essor de la modélisation numérique, soutenu par une progression continue de la capacité des outils informatiques et des grands calculateurs.

Ces deux exemples, certes réducteurs, illustrent le lien entre la recherche sur l'environnement et les moyens de maîtriser ou de traiter l'information. Du coup, serions-nous aujourd'hui face à une révolution, comme on l'entend souvent ? Est-ce une question de nature des transformations, ou de degré dans celles-ci ?

On assimile parfois, de manière un peu hâtive, la recherche actuelle en matière d'environnement à la réponse aux enjeux soulevés par la transition environnementale. Cette notion recouvre de multiples facettes : climatique, énergétique, écologique, alimentaire... Bien que relevant d'approches distinctes, ces dernières ne sont pas indépendantes, elles interagissent entre elles, appelant une approche systémique.

Si la recherche environnementale ne se résume pas à la transition climatique, cette dernière pointe une caractéristique majeure commune : le besoin d'une approche holistique pour comprendre, prédire, anticiper l'évolution du climat, de la biodiversité, des différents compartiments du système Terre, mais aussi développer les écotechnologies, maîtriser la gestion des territoires... Le tout, dans un contexte de crise où les modifications de l'environnement, sous l'effet de l'action de l'homme (l'ère de l'anthropocène⁽²⁾), se manifestent de manière aiguë, avec un risque de rupture des équilibres (extinctions massives d'espèces

(1) Pour une vision plus historique, voir : Fabien LOCHER (2008), *Le Savant et la Tempête. Étudier l'atmosphère et prévoir le temps au XIX^e siècle*, Presses Universitaires de Rennes, Collection « Carnot ».

(2) "A Global Perspective on the Anthropocene, *Science*", vol. 334, n°6052, octobre 2011, p. 7 et pp. 34-35.

animales et végétales, transformation climatique radicale en cas de dépassement de la limite des 2 °C de réchauffement, extrême vulnérabilité des sociétés face aux risques anthropiques...).

Or, pour appréhender ces transformations, la recherche environnementale doit disposer d'une capacité d'intégration, de mise en regard des différents phénomènes, de saisie de leurs interactions, de maîtrise des interfaces, de prise en compte d'une large gamme d'échelles de temps et d'espace (allant du mondial au local) appelant à la fois une diversification des observations, une capacité de modélisation inconnue jusqu'ici, dans un souci de compréhension, de prédiction et d'action⁽³⁾.

De surcroît, les sciences de l'environnement nécessitent, dans un même mouvement, d'appréhender le comportement des acteurs et de s'enrichir de l'analyse de leurs pratiques. L'approche ne saurait seulement reposer sur un « simple » regard physique ou biologique, mais devrait également s'efforcer d'intégrer les diverses formes du rapport à la vie et à l'environnement. À titre d'illustration, les formes très variables du rapport au sol et au territoire, telles qu'elles sont étudiées par l'anthropologue Philippe Descola, montrent à quel point il n'existe pas de modèle unique dans les rapports entre les collectifs qui occupent notre planète⁽⁴⁾.

En somme, la recherche environnementale affronte la nécessité de donner un sens à des phénomènes multiples dont les mécanismes de rétroaction à l'échelle planétaire ou régionale interrogent les limites de notre capacité d'appréhension et de traitement de l'information.

En regard, quels sont aujourd'hui les grands traits propres aux sciences et aux technologies du numérique ? Par numérique, nous entendons ici les principales disciplines structurant ce champ : l'informatique, l'automatique, la robotique, le traitement du signal et des images, les télécommunications et l'électronique, mais aussi les liens avec les mathématiques ou la modélisation. Sans prétendre à une analyse fine des mouvements qui bouleversent le domaine, on retiendra cependant quelques traits pertinents pour notre propos : le « numérique » connaît depuis une quinzaine d'années une accélération qui va de pair avec une masse de données de plus en plus considérable assortie de ses capacités de collecte et de traitement, d'un progrès ininterrompu des machines associées, d'avancées régulières dans le domaine de l'algorithmique et de tout ce qui peut faciliter la modélisation, sans parler des capacités d'apprentissage des machines, que l'on regroupe, de manière simplificatrice, sous l'expression « intelligence artificielle »⁽⁵⁾.

La mise en regard des deux tendances parle d'elle-même : les besoins de la recherche environnementale trouvent, en miroir, des opportunités nouvelles dans les progrès numériques, non sans d'ailleurs susciter des interrogations sur la pratique scientifique elle-même, comme on le verra avec les cas de la maîtrise des flux de données et de leur qualification.

Parcourons quelques champs d'interaction pour mieux appréhender les pratiques actuelles⁽⁶⁾.

Le point de départ le plus évident est celui de la compréhension, de la modélisation et de l'analyse de l'environnement et de ses complexités. Depuis quelques années se développe une interaction entre les disciplines afin d'appréhender les processus humains, biologiques, physiques, chimiques..., à des échelles de temps et d'espace multiples. La compréhension des évolutions actuelles impose de coupler divers compartiments de la Planète (géosphère, hydrosphère, atmosphère, biosphère) afin d'aboutir à une représentation qui reflète mieux les processus en cause. On sait ainsi que l'interaction océan-atmosphère et sa meilleure représentation de même que l'interaction atmosphère-biosphère continentale sont des clés pour des progrès dans la prédiction météorologique et climatique.

Ce travail appelle des outils numériques, déterministes ou probabilistes, ainsi que des infrastructures pour les déployer, qui sont de plus en plus complexes et exigeants. Comme dans notre exemple météorologique initial, la simulation numérique est un outil central, que ce soit d'ailleurs pour représenter ou décrire, ou simplement pour dessiner des scénarios, des tendances par rapport auxquels il faudra réagir ou réfléchir à la description des futurs possibles, afin de les éviter ou, au contraire, de les faire advenir.

Cela vaut pour de nombreux champs : l'eau (océanographie, hydrologie), l'atmosphère (météorologie, climat, pollution), les agroécosystèmes (biodiversité, agriculture), les sociétés (villes, transports)... Le couplage de modèles à différentes échelles est une voie de progrès majeure de la recherche. La nécessaire prise en compte des comportements humains introduit un degré de complexité supplémentaire, à la fois parce qu'il est nécessaire de prendre en compte des boucles de rétroaction, mais aussi du fait de la difficulté des modélisations couplées.

De plus, afin de maîtriser l'incertitude, les outils de l'assimilation de données (préparation des données pour les rendre les plus adaptées possibles au modèle) ou les techniques ensemblistes (répétition de simulations, avec des fluctuations de l'état initial) irriguent les approches contemporaines.

Ainsi, la compréhension de phénomènes repose sur la modélisation et la simulation de systèmes complexes impliquant la disponibilité d'algorithmes plus performants, d'où le développement croisé d'une recherche environne-

(3) <http://www.allenvi.fr/actualites/2017/scenenvi-futurs-pour-la-planete>

(4) DESCOLA (P.), Les Usages de la Terre. Cosmopolitiques de la territorialité, cours au Collège de France, 2015-2016.

(5) On trouvera une approche beaucoup plus complète faite par l'Alliance nationale des Sciences et Technologies du Numérique Allistène, Présentation de l'Alliance, Paris, 2011 : https://www.allistene.fr/files/2011/01/ALLISTENE_Brochure-presentation.pdf

(6) On s'appuiera librement sur un rapport produit par les deux Alliances de recherche françaises Allistène et AllEnv, respectivement dédiées au numérique et à l'environnement, rapport sur les interactions entre les deux domaines, rédigé sous la coordination de Frédéric Garcia (DR Inra) et Jérôme Mars (Pr GIPSA lab, Grenoble-INP), 2015.

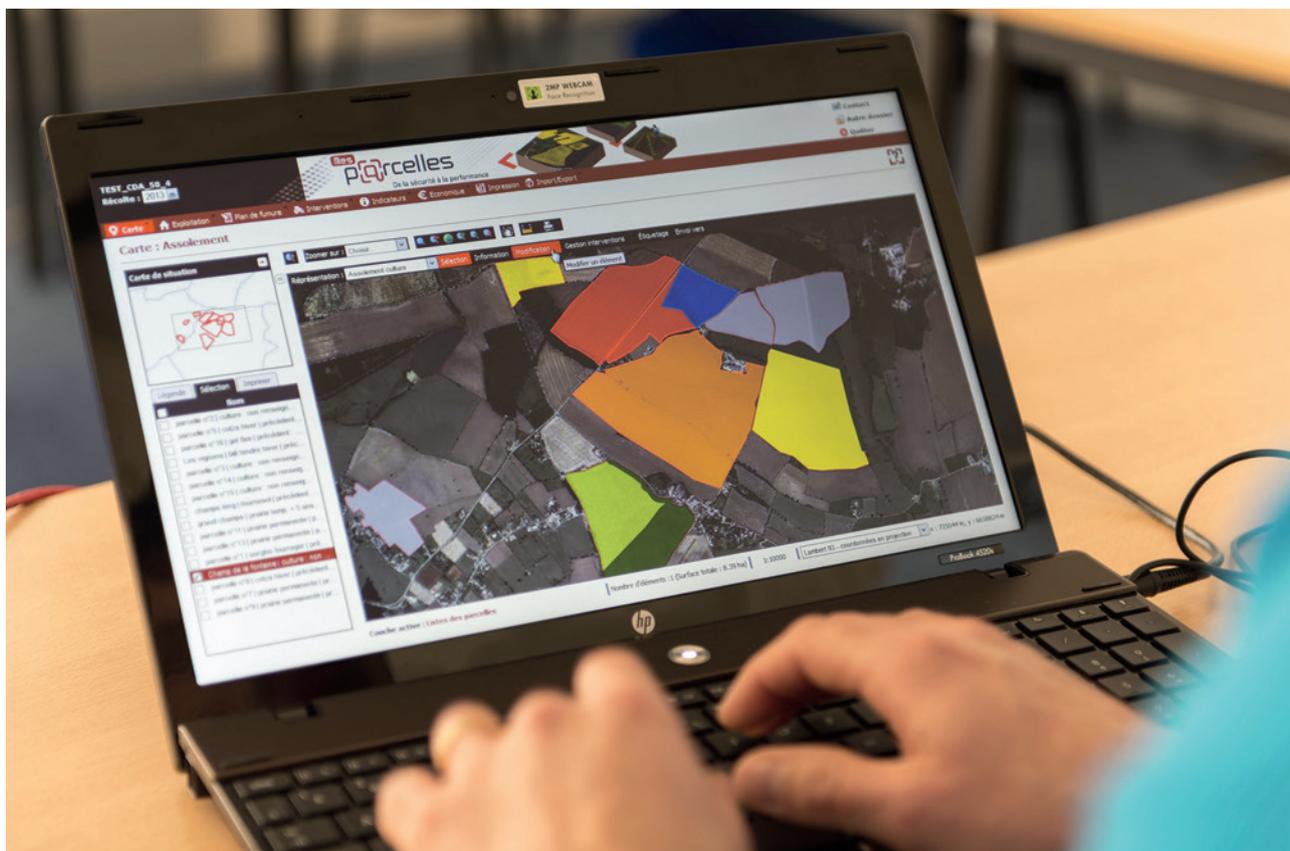


Photo © Pierre Gleizes/REA

Démonstration du logiciel Web « Mes parcelles » à la Chambre d'Agriculture de la Nièvre.

« La simulation numérique est un outil central, que ce soit d'ailleurs pour représenter ou décrire, ou simplement pour dessiner des scénarios, des tendances par rapport auxquels il faudra réagir ou réfléchir à la description des futurs possibles, afin de les éviter ou, au contraire, de les faire advenir. »

mentale qui vise une compréhension plus intégrée et plus fine des mécanismes et d'un travail numérique s'appuyant sur le calcul « haute performance ».

Un deuxième enjeu majeur est celui de la donnée, qui soulève des questions de multiples natures. Les progrès en matière environnementale sont tellement liés à l'observation et à l'augmentation de nos connaissances sur les écosystèmes ou sur les milieux que l'on finirait par en oublier le risque d'être submergé par la donnée.

L'essor des réseaux d'observation (que l'on songe simplement à la donnée spatiale, qui a transformé notre vision) et la multiplication des données expérimentales ont radicalement changé nos modes d'approche de l'environnement. Pour aborder ce continent de données, l'élaboration de techniques de fouille est cruciale et repose, là encore, sur les techniques numériques. Au plan international, une initiative intergouvernementale comme GEO/GEOSS (qui vise à développer un système global d'observation de la Terre fondé sur un système de systèmes nationaux ou par discipline), qui est relayée aux niveaux nationaux par des e-infrastructures portant spécifiquement sur les données et la modélisation du système Terre, a un effet structurant sur la recherche environnementale.

La donnée pose aussi la question de son traitement. Un peu à l'exemple du télégraphe, au XIX^e siècle, l'émergence de nouveaux dispositifs techniques, comme les objets connectés et les capteurs d'opportunités ou des techniques de mesure plus sophistiquées, confrontent les chercheurs à la délicate question de l'exploitation de données apportant une information nouvelle, mais ne s'insérant pas « naturellement » dans leurs modèles. Ce problème n'est pas nouveau (voir l'assimilation des données spatiales, par exemple), mais il appelle une capacité de traitement et d'insertion de la donnée dans les cadres de représentation classiques. On peut aussi envisager les capteurs sous un angle nouveau, avec un traitement incorporé de la donnée qui peut ensuite grandement contribuer à sa prise en compte : comment incorporer le maximum « d'intelligence des processus » dès le stade de l'acquisition ?

Par ailleurs, la masse de données acquise par les nouveaux systèmes d'information interroge également les procédures de validation, voire la responsabilité des acteurs. Il faut savoir comment et dans quelle mesure exploiter un ensemble d'observations éventuellement moins rigoureuses ou satisfaisantes que de coutume, mais dont

le grand nombre viendrait compenser ce défaut de qualité. Cette collecte massive rendue possible par le numérique appelle des modes d'analyse permettant d'en faire sens. Au passage, peut-on y voir une opportunité, avec la généralisation, au-delà du seul cadre de certaines sciences naturelles qui les pratiquent de longue date, de sciences participatives qui bénéficieraient d'outils adaptés de collecte, d'exploration et de représentation de ces données ?⁽⁷⁾.

La fusion de données a pour objectif de permettre une description d'ensemble d'un système à partir de mesures acquises dans divers milieux. Cela peut offrir des outils d'aide à la décision, notamment en matière de risques environnementaux, naturels ou anthropiques. Cela suppose de bâtir progressivement des bases de données qui soient à même d'irriguer les systèmes experts associés et de quantifier leurs performances.

Si l'on ajoute à ces diverses facettes l'essor d'une politique de la donnée libre (*Open Data*) qui pose de multiples questions (type de traitement de la donnée et d'exploitation de cette dernière, modèles économiques des acteurs), l'on voit que la donnée et son environnement sont bouleversés par le numérique, celui-ci transformant en retour les acteurs de la recherche, de la surveillance ou de l'observation et exigeant de nouveaux développements numériques pour maîtriser ces flux. Il conviendra d'être vigilant pour que les GAFAs⁽⁸⁾ ne viennent pas oblitérer le travail des acteurs scientifiques et techniques, garants de la rigueur de la collecte et de son exploitation, dès lors qu'ils sembleraient s'y substituer, mais n'assumeraient pas pleinement la responsabilité de ce qui est produit et les exigences associées.

Reste donc à espérer que tout ceci s'insère dans une boucle vertueuse. La confiance en la donnée et en ses algorithmes d'exploitation sera de plus en plus au cœur des analyses et des débats, pour appliquer des principes éthiques et responsables. L'enjeu est bel et bien dans la combinaison entre donnée « autorisée » et donnée « de masse », pour que leur combinaison harmonieuse aille vers une compréhension croissante des phénomènes en cause par tous les publics, et non vers des débats stériles.

Troisième et dernier élément : il semble aller de soi que la recherche environnementale soit au service des politiques publiques. À l'évidence, l'effort de la recherche tend bien à éclairer les choix des décideurs ou à les alerter. Il ne faut toutefois jamais oublier la distance entre le paradigme de la recherche et les pratiques de la régulation publique. Pour prendre un exemple maritime, connaître l'océan et la complexité de ses écosystèmes est une chose, mais en dériver les outils de pilotage et de suivi, tels qu'on peut les pratiquer dans le cadre de dispositifs comme la directive cadre européenne Stratégie pour le milieu marin (DCSMM) en est une autre. On en vient donc à se poser la question d'extraire, des données ou des modèles, les indicateurs pertinents, de proposer des outils de simulation des décisions et d'assurer leur suivi dans le temps. Et, de nouveau, la puissance apportée par les développements numériques est l'élément clé pour procéder à cette formalisation, puis pour la maîtriser dans le quotidien afin

d'appréhender au plus près les indicateurs d'un bon état écologique.

Par-delà la recherche, se posent aussi des questions d'organisation, de marché et de développement économique. Des moyens mutualisés sont nécessaires pour garantir aux diverses communautés leur accès aux grandes infrastructures numériques. Parallèlement, l'exemple, bien connu en physique de l'atmosphère, de modèles « communautaires » qui rassemblent les acquis d'un champ disciplinaire, pour représenter son ou ses objets, a vocation à se développer et permettre à tous de mieux mutualiser et partager leurs savoirs.

De manière plus économique, l'enjeu de la donnée est aussi celui des acteurs qui s'en saisiront et sauront s'y faire une place, en matière non seulement de surveillance environnementale, mais aussi de restauration et de gestion du bon état de l'environnement. En effet, ces différentes évolutions sont aussi source d'innovation, par exemple en matière de technologies de valorisation et d'intelligence des données et d'Internet des objets, aux côtés d'approches plus classiques (tels que les capteurs, le diagnostic...).

En France, deux Alliances de recherche sont particulièrement concernées : d'une part, Allistene, pour les sciences de l'information (informatique, électronique embarquée, traitement du signal et de l'image, sciences humaines et sociales) et, d'autre part, AllEnvi, pour l'environnement (agro-écologie, aménagement des territoires, sciences de la Terre, de la mer ou du climat, biologie, écologie, physicochimie, sciences économiques et sociales...). Ces deux Alliances ont d'ores et déjà mené des réflexions communes qui mériteraient d'être amplifiées, y compris en allant vers des équipes interdisciplinaires qui soient à même d'appréhender, d'une part, les diverses facettes de l'imbrication entre les domaines de ces allers-retours permanents entre la donnée et son traitement et, d'autre part, les questions que se posent mutuellement les disciplines.

Les objectifs de développement durable (ODD) constituent désormais un des cadres de référence pour appréhender l'état de la planète et les actions à entreprendre. Nombre d'entre eux sont en interaction étroite avec la recherche environnementale. S'ils n'en sont pas le programme, celle-ci peut néanmoins apporter les éléments qui nourrissent leur déclinaison. En filigrane de ces objectifs se profile aussi la nécessité d'une étroite complémentarité entre les sciences de l'environnement et les outils de traitement et d'acquisition des données et de représentation issus du monde numérique. Cela revient à dire que, pour faire face aux crises qui sont devant nous, une alliance est indispensable, qu'il ne faut la considérer ni comme une évidence ni avec passivité, mais comme une conquête indispensable pour pouvoir inaugurer d'autres formes de compréhension et de pratiques.

(7) Les Sciences participatives en France, rapport réalisé sous la direction de François Houllier (2016), Paris.

(8) Google, Apple, Facebook, Amazon.