

La contribution de la recherche française sur le climat

La recherche française dédiée aux enjeux du changement climatique s'inscrit dans trois axes qui se sont constitués au fil du temps et sont désormais en interaction systémique.

A la suite des précurseurs qui ont démontré le lien entre l'augmentation des GES dans l'atmosphère et son réchauffement, s'est développée une **science du climat visant à comprendre les échanges d'énergie entre les principaux compartiments atmosphère, océans, cryosphère et surfaces continentales dans l'espace et dans le temps afin de mieux modéliser pour prédire les évolutions à venir**. Une meilleure compréhension des processus physiques contrôlant le climat et ses variabilités spatiales et temporelles s'obtient au moyen de longues séries d'observation, de campagnes d'investigation ou d'expérimentations de laboratoire, dont les résultats sont traduits en modèles numériques sophistiqués. La France développe deux grands modèles climatiques, fondés sur deux pôles de recherche majeurs, à Paris (Institut Pierre Simon Laplace, IPSL) et Toulouse (Météo-France et les laboratoires associés), dont les simulations sont utilisées par le GIEC. Entre 2015 et 2019, l'ANR a alloué 32 M€ à des projets de recherche collaborative portant sur la compréhension du système climatique. Ces travaux reposent aussi sur une Infrastructure nationale de recherche pour la modélisation du climat. CLIMERI-France a pour mission la réalisation de simulations numériques internationales pour le Programme Mondial de Recherches sur le Climat (WCRP) et la mise à disposition de ces résultats. Ces simulations sont utilisées par le GIEC auquel la France contribue largement au travers de la mobilisation de ses experts scientifiques. Au-delà des modèles climatiques, la recherche française investit par ailleurs dans le développement des dispositifs d'observation : elle assure un quart de la contribution européenne et un dixième de la contribution mondiale annuelle pour le développement de flotteurs Argo nouvelle génération permettant de mesurer et de transmettre en temps quasi-réel la température, la salinité et la concentration en oxygène dans les océans, permettant de documenter des zones océaniques particulièrement sensibles dans le contexte du changement climatique. Elle investit par ailleurs dans le développement de carottiers permettant d'obtenir des données à haute résolution, des enregistrements des variations du climat, en particulier au cours des derniers millénaires, dans les sédiments marins, les sédiments continentaux et les glaces (paleoCLIMatic CORing). Elle déploie des stations sur l'Océan Arctique permettant de collecter simultanément et en temps réel les informations liées à l'état des couches supérieures de l'océan, de la basse atmosphère et de la glace de mer (Ice - Atmosphere - Arctic Ocean Observing System). Elle réunit l'ensemble des navires de recherche dans une infrastructure commune, la Flotte Océanographique Française (FOF), accessible à tous les scientifiques sur appel d'offres. Le programme et équipement de recherche exploratoire « TRACCS » (TRANSformer la modélisation du Climat pour les services ClimatiqueS), piloté par le CNRS et Météo France, vise à transformer la modélisation du climat pour répondre aux attentes sociétales en améliorant connaissances et outils concernant les impacts et risques climatiques, et en contribuant au développement des services climatiques.

Au fur et à mesure que ces travaux de modélisation permettaient de mieux qualifier et de quantifier le réchauffement climatique à venir, l'effort de recherche s'est également porté, au moyen d'observations, d'expérimentations et de modélisations, sur les **impacts du réchauffement climatique** à toutes les échelles, du local à la planète. Ces impacts ont d'abord été envisagés sur les ressources (eau, végétaux), puis plus largement sur l'ensemble de la biosphère, jusqu'à inclure les sociétés humaines. Entre 2015 et 2019, l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) a alloué 35,6M€ à des projets collaboratifs portant sur les impacts du changement climatique, et 28,5M€ à la recherche sur l'adaptation au changement climatique. Près de la moitié de ces fonds ont été consacrés à des projets liés la biodiversité, reflétant l'importance de la communauté de recherche française sur la biodiversité, structurée autour d'un pôle implanté à Montpellier où sont regroupés les spécialistes de l'agriculture,

de l'environnement et de la biodiversité méditerranéenne et tropicale, terrestre et marine, ainsi que de l'hydrologie, et d'un pôle parisien, complétés par les implantations outre-mer en Guyane, Nouvelle-Calédonie, Réunion, Mayotte. Parmi les projets marquants : le programme de recherche sur l'acidification des océans et ses conséquences, lancé en 2015 par le ministère en charge de l'Ecologie, a permis de sélectionner huit portant sur des régions océaniques particulières (Arctique, Polynésie), des organismes d'intérêt économique (huître creuse, huître perlière, ormeau, sèche, bar) ou écologique (coccolithophores, coraux), qui ont notamment permis de mettre en lumière le risque de développement de toxines dangereuses pour l'homme (ciguatera) lié au sur-développement de certaines cyanobactéries ; le pôle européen accueilli par le CNRS, « Urban Climate Change Research Network » (UCCRN), anime le groupement interdisciplinaire Climalex (Climat et normes, regards interdisciplinaires) qui permet de créer des synergies nouvelles entre le droit, la philosophie, la sociologie et les sciences dures ; le Space Climate Observatory (SCO), réseau international regroupant vingt-trois agences spatiales, créé en 2019 à l'initiative de la France, a pour objectif de faire émerger des applications opérationnelles fondées sur les données spatiales pour le suivi, l'atténuation et l'adaptation aux changements climatiques (FORO, développé par le projet FLAude, pour une meilleure résilience aux inondations dues aux épisodes méditerranéens ; Arbocarto-V2, pour anticiper les risques d'épidémies de maladies portées par les moustiques ; EO4DroughtMonitoring pour anticiper les sécheresses en Nouvelle-Calédonie ; MEO-Climate pour accompagner le monde rural dans sa transformation ; SCOLive, une application de cartographie et de suivi des oliviers, etc.) ; l'infrastructure Analyse et Expérimentation sur les Ecosystèmes (AnaEE), devenu infrastructure européenne en 2021, rassemble en France 33 dispositifs originaux permettant de manipuler les écosystèmes en conditions contrôlées ou bien en milieu ouvert pour des expérimentations long terme dans des milieux différenciés aux historiques documentés. Dans le cadre de l'initiative « France 2030 » portée par les pouvoirs publics, plusieurs programmes et équipements de recherche (PEPR) exploratoire auront par ailleurs vocation à contribuer à ce chantier selon une programmation pluriannuelle, comme par exemple : « Agroécologie et Numérique », piloté par INRAE et INRIA, qui a pour objectif de produire des connaissances de fournir des outils afin d'installer l'agroécologie couplée au numérique ; « Sélection végétale avancée face au défi climatique », piloté par INRAE, qui vise l'adaptation des systèmes de production agricole afin de faire face au changement climatique tout en combinant la réduction des intrants phytosanitaires et nutritifs ; ou encore « OneWater », piloté par le CNRS, le BRGM et INRAE, qui vise à accompagner la transition vers une nouvelle gouvernance des ressources et une société plus sobre, vertueuse et résiliente.

Enfin, alors qu'il est malheureusement établi que l'objectif fixé par les accords de Paris de + 1,5°C en 2030 ne sera probablement pas respecté, les chercheurs ont également investi les domaines de **l'atténuation et de la remédiation**. L'Agence Nationale de la Recherche soutient trois grands domaines de sciences de l'ingénieur y contribuant : réduire la consommation d'énergie grâce à une meilleure efficacité énergétique ; produire des énergies renouvelables ; stocker et distribuer l'énergie de façon efficace. De 2015 à 2019, elle a financé un total de 283 projets et 129M€. L'Agence de la transition écologique (ADEME), finance également des projets recherche généralement plus finalisés et relevant de ses compétences. En matière de transition énergétique, de 2015 à 2019, l'ADEME a financé des projets de recherche à hauteur de 90M€. 15 Instituts Français pour la Technologie ont été créés pour favoriser une dynamique collaborative entre la recherche publique et les entreprises. L'Institut de Recherche pour la Transition Énergétique (ITE) « Efficacy » se consacre à la transition énergétique et écologique des villes ; l'ITE « France Energie Marine » constitue le plus gros pôle de recherche dédié aux énergies marines renouvelables au niveau national ; l'Institut de Recherche Technologique (IRT) « Railenium » (70 personnes) a pour mission d'accompagner le développement de la filière ferroviaire face à deux défis de taille que constituent l'accélération du report modal et la concurrence des pays

émergents. Dans le cadre de l'initiative internationale « 4% sur les sols pour la sécurité alimentaire et le climat », lancée par la France à la conférence de Paris sur le climat en 2015, l'Institut National de Recherche en Agronomie et Environnement a évalué le potentiel de stockage des sols en France, les différentes pratiques permettant d'améliorer leur contenu en carbone, les co-bénéfices ou difficultés escomptées. L'Etat a décidé de mobiliser la recherche sur ces sujets en lançant le PEPR « FairCarbon : Le carbone dans les écosystèmes continentaux », dont la finalité est de développer la contribution des écosystèmes continentaux à l'atténuation du changement climatique et à la neutralité carbone. Enfin, l'infrastructure WEST (Tungsten Environment for Steady-state Tokamaks), entrée en exploitation en 2018, constitue un outil majeur pour l'atteinte de la fusion thermo-nucléaire. Plusieurs programmes et équipements de recherche exploratoire auront par ailleurs vocation à contribuer à ce chantier, comme par exemple : « H2 : Préparer la transition vers l'hydrogène décarboné », piloté par le CNRS et le CEA, construit pour répondre aux problématiques de production d'hydrogène bas carbone, son utilisation pour la mobilité, son stockage, la recherche pour accompagner le déploiement des systèmes hydrogène à travers des analyses de cycle de vie, des études technico-socio-économiques et des aspects sécurité ; « Batteries », piloté par le CNRS et le CEA, qui contribuera au développement de la prochaine génération de batteries en s'appuyant d'une part sur des recherches disruptives mettant en œuvre de nouveaux matériaux et de nouvelles architectures, et d'autre part, sur une approche innovante pour surmonter les limites des batteries existantes en utilisant de nouveaux outils numériques ; « DDM : Le numérique au service de la mobilité dans les territoires », piloté par l'Université Gustave Eiffel et IFPEN, qui vise à créer des outils à destination des collectivités pour notamment la modélisation des flux, modèles économiques ou encore les Analyse de Cycle de Vie (ACV), en lien avec les évolutions technologiques des systèmes de propulsion des véhicules, les solutions de mobilité collective et/ou partagée et inter-modales pour répondre aux enjeux du secteur de la mobilité – en particulier urbaine et péri urbaine ; « Ville Durable et Bâtiments Innovants », piloté par l'Université Gustave Eiffel et le CNRS, qui a pour objectif à développer des outils et solutions pour la Ville Durable en prenant en compte les dynamiques et spécificités propres des territoires.