

A wide-angle photograph of a dried lake bed. The foreground is filled with a dense pattern of cracked, dry earth. In the middle ground, a small, calm body of water reflects the sky. The background shows a line of green trees under a clear, light blue sky.

DOSSIERS THÉMATIQUES DU CNRS

**LES RECHERCHES
SUR LE CHANGEMENT
CLIMATIQUE**

ÉDITORIAL

Le changement climatique est sans nul doute l'un des plus grands défis que l'humanité ait à relever. Comment l'atténuer et s'y adapter ? Comment se projeter dans les prochaines décennies et éclairer les nécessaires décisions publiques par les faits et la connaissance qu'apporte la science ?

Pour répondre à ces questions, il est indispensable de comprendre les mécanismes physiques, chimiques et biologiques qui contrôlent l'évolution du climat, et se mettre en capacité d'en observer les traces et les tendances, actuelles comme passées, pour en prévoir les impacts sur nos territoires, les écosystèmes et nos sociétés. Ces impacts seront écologiques, sanitaires, urbanistiques mais aussi juridiques et géopolitiques, bref civilisationnels. Ainsi fondamentalement ancrées dans la société, les recherches sur le climat touchent également le sujet de la transition écologique : eau, transports, production d'énergie décarbonée, captage de CO₂ ... Elles amorcent des pistes de solution pour venir en appui aux décideurs publics.

Parce que le changement climatique touche tous les domaines, il mobilise l'ensemble du champ de savoirs : les sciences du Système Terre évidemment mais aussi la physique, la biologie, l'écologie, la chimie, les mathématiques, l'informatique, l'ingénierie et sciences humaines et sociales et appelle à une interdisciplinarité renouvelée. La force du CNRS est justement de disposer en son sein de l'ensemble de ces disciplines mais aussi de favoriser la nécessaire interdisciplinarité à partir de l'excellence disciplinaire de chacun de ces domaines. C'est pour ces raisons que le CNRS est naturellement un des acteurs majeurs de la recherche sur le changement climatique, au niveau national et international et qu'il est aussi un pilier du GIEC par la qualité de ses productions et de ses chercheurs. Cette plaquette a pour objectif de présenter la richesse et de la diversité des sujets explorés dans les laboratoires du CNRS.

Antoine Petit, PDG du CNRS

TABLE DES MATIÈRES

Pour affiner notre compréhension des processus à l'œuvre dans le changement climatique, l'observation, l'expérimentation et la modélisation sont fondamentales. La synergie entre ces trois aspects permet aux scientifiques des laboratoires du CNRS de faire avancer les connaissances, et d'étudier les impacts de ce bouleversement. Le CNRS se place ainsi en capacité d'informer la société, éclairer la décision publique, voire de proposer des solutions, que ce soit en termes d'atténuation ou d'adaptation.

OBSERVER POUR COMPRENDRE	3
EXPÉRIMENTER, MODÉLISER, SIMULER	8
ÉTUDIER LES IMPACTS	10
ÉCLAIRER LES DÉCIDEURS	14
INFORMER LA SOCIÉTÉ	15
PROPOSER DES SOLUTIONS	16

OBSERVER POUR COMPRENDRE

COMPRENDRE LE FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE CLIMATIQUE

Les recherches sur le changement climatique, débattues et priorisées dans le cadre d'exercices de prospective animés par le CNRS pour toute la communauté scientifique, nécessitent de comprendre le fonctionnement de chacun des compartiments du système Terre (atmosphère, océan, cryosphère, lithosphère et biosphère) et leurs interactions ainsi que la manière dont s'y font les échanges d'énergie, d'eau et de carbone.

A ces fins, la première étape indispensable est l'acquisition de données d'observation. En combinant les observations long terme depuis le sol ou l'espace et des campagnes de mesures sur le terrain, les communautés scientifiques se donnent les moyens d'identifier les tendances et d'élucider les processus à l'œuvre.

Les outils de l'observation

Une quinzaine d'infrastructures de recherche nationales ou internationales, co-portées par le CNRS, regroupent les grands outils nécessaires à ces études : avions de recherche et ballons (IN-AIR), navires océanographiques (FOF), infrastructures de modélisation (CLIMERI-France), grands réseaux permettant de documenter aussi bien la composition de l'atmosphère (ICOS, ACTRIS, IAGOS) que les multiples variables issues des océans (ARGO).

Certaines infrastructures se concentrent sur l'étude de zones particulières (zone côtière comme ILICO, zone critique comme OZCAR, ou Antarctique comme Concordia), mais toutes contribuent à faire progresser notre compréhension générale du climat.

Au sein de ces infrastructures de recherche, des Services nationaux d'observation fournissent à l'ensemble de la communauté scientifique des données inestimables pour nourrir la recherche sur le climat : étude des nuages, mesures des gaz à effet de serre, montée des eaux, humidité des sols, température et salinité de l'océan. Ces services sont mis en œuvre par les Observatoires des sciences de l'Univers. Des Zones ateliers étudient quant à elles les socio-écosystèmes en quantifiant notamment les conséquences des activités humaines et des changements climatiques sur leurs dynamiques et leurs évolutions. Elles se focalisent autour d'une unité fonctionnelle (un fleuve et son bassin versant, les paysages et la biodiversité, de l'Antarctique à l'Afrique subsaharienne, ou le littoral...).

Les parcs instrumentaux du CNRS complètent le tableau en mettant à la disposition des laboratoires des instruments pour leurs campagnes de terrain : capteurs, carottiers, sondes, robots ...



Le robot BathyBot et son récif artificiel BathyReef, lors d'essais dans un bassin à La Seyne-sur-Mer

INVENTER LES INSTRUMENTS NÉCESSAIRES

On pense que la fonction de puits de carbone de l'océan, et donc le réchauffement de la Planète, est impactée par la bioluminescence des organismes marins qui vivent dans les profondeurs de l'océan. Mais comment progresser sur ce sujet alors que l'océan profond est un environnement particulièrement difficile à étudier en raison de son obscurité, sa pression et sa température ? Les scientifiques ont conçu à ces fins un duo d'instruments : Bathybot, le premier « rover » sous-marin benthique, qui, armé de sondes et de caméras, se déplacera à 2 400 m de profondeur, et bathyreef, un récif artificiel bio-inspiré. Le duo formé permet le suivi d'une colonisation d'un récif artificiel immergé volontairement ! Initialement déployé au fond de la mer pour étudier les particules en provenance du cosmos, un télescope à neutrinos permet également d'observer la bioluminescence du phytoplancton.

OBSERVER LE CLIMAT



Les outils de mesure

- 1 Ballon stratosphérique
Mesures de paramètres atmosphériques
- 2 Avion de ligne instrumenté / avion de recherche
Mesures de paramètres atmosphériques
- 3 Interview
Chercheur recueillant les observations d'un habitant
- 4 Station de forage
Mesures de paramètres de l'environnement ancien
- 5 Carottage de glace
Mesures de paramètres de l'environnement ancien
- 6 Satellite
Mesures de paramètres de surface et de paramètres atmosphériques
- 7 Lidar
Mesures de paramètres atmosphériques et topographiques
- 8 Station d'observation
Mesures de paramètres environnementaux
- 9 Drone
Mesures de la couverture végétale et de paramètres atmosphériques
- 10 Station météo
Mesures météorologiques
- 11 Sac de litière
Mesures du fonctionnement biologique du sol
- 12 Capteur
Exemple d'un instrument de mesure du niveau d'eau (piézomètre)
- 13 Radar météo
Mesures de paramètres atmosphériques
- 14 Bateau d'observation pour les fleuves et les estuaires
Mesure des paramètres de l'eau
- 15 Tour à flux
Mesures des échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère
- 16 Bouée et ligne immergées instrumentées
Mesures des paramètres de l'eau et du courant
- 17 Bateau d'exploration
Campagnes de recherches océaniques



Enfin, les laboratoires du CNRS sont au cœur de la plupart des missions scientifiques d'observation de la Terre depuis l'espace avec participation française, comme par exemple SWOT ou MicroCarb. Ils contribuent non seulement à la définition des grandes questions scientifiques, mais aussi à la conception des instruments des missions qui aident à les résoudre ainsi qu'à l'exploitation de leurs résultats. Le CNRS est partenaire du Centre national d'études spatiales (Cnes) pour nombre de ces missions et ses laboratoires participent souvent à la calibration et à la validation des mesures faites depuis les satellites à l'aide de moyens au sol et aéroportés. Depuis la Terre comme depuis l'espace, cette véritable auscultation de l'environnement par les scientifiques est basée sur l'utilisation de capteurs souvent très innovants. Miniaturisés, intelligents, connectés, peu onéreux et sobres, ils doivent permettre d'être déployés à grande échelle pour collecter l'ensemble des variables sans perturber le milieu analysé. Ils permettent de documenter avec le niveau de précision requis aussi bien notre environnement immédiat que des territoires inaccessibles.

OBSERVER AVEC L'AIDE DE LA POPULATION

Les scientifiques utilisent de plus en plus les dispositifs de sciences participatives qui ont l'intérêt d'associer aux recherches des acteurs ou associations. Ces dispositifs, qui revêtent des formes très diverses, peuvent faire appel aux observations de la population :

- Des particuliers et des jardiniers municipaux sont appelés à répertorier des araignées pour comprendre l'effet des températures sur la diversité des araignées en ville ;
- Des particuliers sont incités à donner des photos et cartes postales pour retracer l'impact de la montée des eaux sur le littoral aquitain ;
- Des plongeurs de loisirs sont incités à photographier des gorgones marines pour mieux appréhender la façon dont elles sont affectées par le réchauffement climatique ;
- Des pêcheurs de l'île de Mayotte ou éleveurs de rennes Saamis, en Arctique, sont appelés à raconter la façon dont ils voient leur environnement quotidien se modifier.

LES DONNÉES, UN ENJEU CRUCIAL

Volumineuses et hétérogènes, les données issues de l'observation sont à l'origine de plusieurs défis. En premier lieu, il faut en garantir la pérennité et la qualité, c'est pourquoi le CNRS s'est engagé dans une démarche de labélisation de ses outils d'observation. Il faut également pouvoir les traiter, les conserver et les mettre à disposition, mais aussi les faire parler en les combinant entre elles, indépendamment de leur nature, mode de collecte ou localisation. C'est la mission de l'IR Data Terra qui organise et distribue les données de l'observation de l'environnement.

OBSERVER LES CLIMATS DU PASSÉ

Que ce soit à l'échelle des derniers siècles ou de millions d'années, les variations climatiques passées ont laissé de nombreuses traces dans l'environnement, et ce dans tous les milieux. Leur étude mobilise de nombreuses compétences et interactions multidisciplinaires au sein des laboratoires du CNRS :

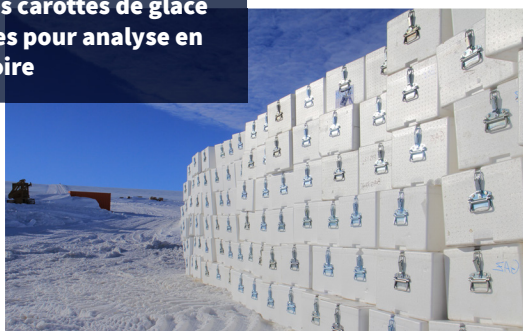
- La composition atmosphérique est reconstruite à partir de l'analyse des bulles d'air piégées dans la glace pour le quaternaire et d'indicateurs du cycle du carbone pour les climats plus anciens.
- Température, humidité ou précipitation ont influencé la composition végétale, les assemblages d'espèces et la composition des coquilles ou squelettes de nombreux organismes. Les reconstitutions climatiques de températures ou de précipitations se font ainsi grâce à l'utilisation des isotopes dont les plus classiques sont les isotopes de l'eau archivés dans les glaces, ou dans la calcite de stalagmites, les carbonates lacustres ou marins, ou encore des cernes d'arbres. Les assemblages de micro-organismes ou de pollens nous donnent quant à eux également des informations notamment sur le couvert végétal et les écosystèmes.



- Les eaux souterraines peuvent être datées grâce à la spectrométrie de masse qui permet d'analyser leur composition en gaz rares.
- D'autres enregistrements, comme le trait de côtes ou les niveaux de coraux, nous renseignent sur le niveau marin.

Grâce à ces différentes données, associées à de constantes améliorations des méthodes de datation, les équipes des laboratoires du CNRS peuvent croiser les différents indicateurs climatiques à grande échelle. Il devient ainsi possible d'effectuer des reconstitutions des variations climatiques à l'échelle du globe ou de ses différentes régions, et d'en retracer les causes possibles, qu'elles soient naturelles (rayonnement solaire, volcanisme, évolution des continents) ou liées à l'activité humaine.

Caisses isothermes renfermant des carottes de glace prélevées pour analyse en laboratoire



CAROTTER EN ANTARCTIQUE

« Beyond EPICA » est un projet européen H2020 coordonné par l'Université Ca' Foscari de Venise, impliquant plus de 20 partenaires issus de 10 nations européennes dont le CNRS. Il vise à forer une carotte de glace de 2800 m de profondeur en Antarctique. L'objectif est d'obtenir une séquence stratigraphique continue des conditions climatiques et environnementales remontant à 1,5 millions d'années et recouvrant ainsi la transition climatique du mi-Pléistocène, c'est à dire lorsque la périodicité des cycles glaciaires-interglaciaires est passée de 40 000 à 100 000 ans. Une des hypothèses pour expliquer cette transition est la diminution de la concentration atmosphérique en gaz à effet de serre, une hypothèse qui sera testée à partir de l'analyse des bulles d'air fossile piégées dans la carotte « Beyond EPICA - Oldest Ice ».

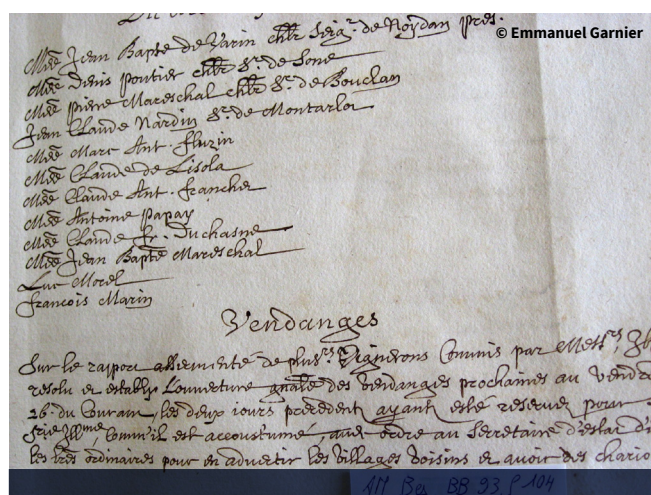


© Cyril FRESILLON/POC/CNRS Images

Analyse de grains de pollens préservés dans des sédiments marins

INTÉGRER LES DONNÉES HISTORIQUES

Quelles ont été la fréquence et l'intensité des événements climatiques extrêmes par le passé ? Quel a été l'impact socio-économique de chacun d'entre eux sur les sociétés ? Journaux privés, rapports administratifs, chroniques religieuses, délibérations municipales apportent un éclairage exceptionnel sur ce qui s'est produit en Europe, Asie, Amériques et Afrique avant 1670, date à partir de laquelle on a des données instrumentales. Indirectement, des informations sur l'état des composantes naturelles (plantes, sols, cours d'eau) nous permettent également de reconstruire les fluctuations du dernier millénaire.



© Emmanuel Garnier

Ban de vendanges à Besançon indiquant le stade de maturité de la vigne en 1661, document provenant des archives municipales de Besançon, BB 93

EXPÉRIMENTER, MODÉLISER, SIMULER

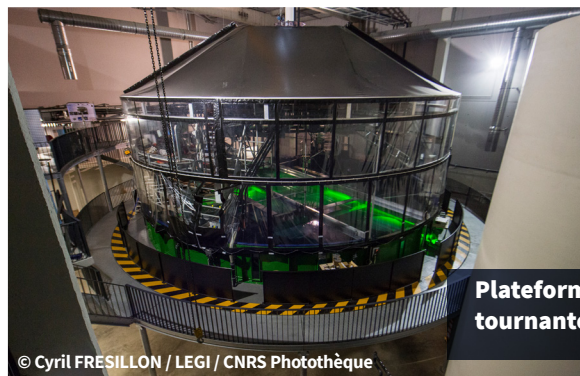
EXPÉRIMENTER

Même si la science du climat se fonde sur des séries d'observations de plus en plus précises, il est important d'acquérir des informations supplémentaires par des mesures dans des contextes contrôlés, qui permettent de faire varier les différents paramètres et évaluer expérimentalement leurs différents effets. Trois types d'expérimentations sont menées à ces fins :

- Expérimentations en laboratoire, avec par exemple des expériences de chimie pour comprendre les différents mécanismes absorbant les gaz à effet de serre ou produisant des aérosols, ou encore des expériences de physique pour comprendre les interactions avec la lumière ou les nuages.
- Expérimentations contrôlées, avec les expériences menées dans le cadre de la plateforme Coriolis ou dans les Ecotrons (cf encadrés) ou les bassins-versants de l'IR OZCAR.
- Expérimentations numériques, comme celles menées avec le modèle ORCHIDEE, un code communautaire labellisé par le CNRS. Le modèle calcule les échanges de carbone, d'azote, d'eau, et d'énergie entre les surfaces et l'atmosphère.

DÉCRYPTER LES COURANTS OCÉANIQUES ET ATMOSPHÉRIQUES

La plateforme Coriolis du LEGI, dont le CNRS est tutelle, est la plus grande plateforme tournante au monde dédiée à la mécanique des fluides. Grâce à ses 13 mètres de diamètre elle approche les conditions caractéristiques de la dynamique océanique. Ses équipements permettent de représenter expérimentalement à petite échelle l'écoulement de vents, de marées, de courants océaniques pour mieux appréhender les phénomènes naturels et pouvoir comprendre par exemple les changements climatiques.



Plateforme tournante Coriolis

© Cyril FRESILLON / LEGI / CNRS Photothèque

METTRE SOUS CLOCHE LES ÉCOSYSTÈMES

Le principe d'un Ecotron est d'étudier des organismes et/ou des écosystèmes placés dans des enceintes totalement ou partiellement étanches afin de permettre une régulation précise de leur environnement en même temps qu'un suivi en continu des échanges de matière et d'énergie entre les compartiments de l'écosystème et entre organismes. Cinq plateformes expérimentales ont été développées par le CNRS. En simulant les changements climatiques, elles permettent de quantifier les évolutions des milieux terrestres, aquatiques ou marins à différentes échelles.



Enceintes de l'Ecotron européen de Montpellier

MODÉLISER

Pour comprendre la dynamique du climat sur le temps long, il faut construire des modèles numériques permettant de vérifier les aspects théoriques, ou d'intégrer pas à pas les nouvelles connaissances sur le fonctionnement du système. De tels modèles se construisent à partir des équations de base de la physique, qu'ils intègrent aux différentes échelles où les phénomènes se produisent,

de celle du gène jusqu'à celle de toute la planète. Très détaillés, certains modèles intègrent très précisément tous les phénomènes physiques en jeu. D'autres, construits pour se concentrer sur les phénomènes essentiels, permettent d'isoler leurs effets les plus importants. Construire de tels modèles à différents niveaux de complexité requiert d'intégrer des connaissances venant de la physique fondamentale (mécanique des fluides, physique statistique), des mathématiques, de la géophysique, de la chimie, etc ... Avec l'évolution conjointe des connaissances et des capacités de calcul et de stockage, les modèles permettent désormais d'aborder bien plus que les grandes tendances.

DÉTECTER ET ATTRIBUER LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Quel est l'effet de l'activité humaine sur le climat ? Depuis les années 1990 se sont mises en place des méthodes statistiques permettant d'interroger ce lien de façon objective. Il s'agit de se demander si les variations climatiques enregistrées sont différentes de ce que l'on attend de la variabilité propre du climat, et, dans le cas où la réponse est positive, de s'interroger sur les possibles origines. Sont-elles naturelles, c'est-à-dire liées au volcanisme ou aux variations solaires ? ou anthropiques, et donc liées aux émissions de gaz à effet de serre, d'aérosols ou à l'occupation du sol ? Grâce aux jeux de données de plus en plus complets, on peut établir avec certitude l'origine anthropique non seulement du réchauffement actuel mais aussi, dans la plupart des régions, des changements de précipitations et même de valeur extrême de température ou de précipitation. Les équipes du CNRS font partie des équipes pionnières sur l'attribution des événements extrêmes en temps quasi réel.

SIMULER

Les modèles les plus complets intègrent les fonctionnements des différents milieux et leur couplage. Ils sont utilisés pour étudier et prévoir le climat et ses changements. La simulation du climat par de tels modèles requiert du calcul intensif et du stockage informatique. Ces simulations numériques nécessitent des supercalculateurs comme le supercalculateur Jean Zay (voir encadré).

Le calcul et la simulation de modèles climatiques s'appuient également sur la résolution efficace de problèmes inverses, sur des techniques d'assimilation de données, et sur des approches de systèmes distribués économe en énergie. Les équipes du CNRS ont été fortement mobilisées dans le 6^{ème} exercice d'intercomparaison de modèles couplés (CMIP6), qui a servi de référence pour le 6^{ème} rapport du GIEC. Il s'agit de modèles globaux représentant l'atmosphère, l'océan, les surfaces continentales, la glace de mer, les calottes de glace et leurs couplages et d'ensembles de simulations permettant de comprendre non seulement comment le climat réagit à différentes perturbations externes, qu'elles soient d'origine naturelle (solaire, volcanique ...) ou anthropique (gaz à effet de serre, aérosols, utilisation des terres) mais aussi l'impact des activités humaines sur le climat. Différentes trajectoires possibles sont simulées pour questionner les pistes d'atténuation et d'adaptation au changement climatique.



**Supercalculateur
Jean Zay**

© Cyril FRESILLON / IDRIS / CNRS Photothèque

CALCULER

Les modèles de climat nécessitent la simulation de différents composants du système Terre (océan, atmosphère, ...). Les couplages et synchronisations de ces composants peuvent être facilités par des méthodes d'intelligence artificielle ou d'ajustement de paramètres qui accélèrent la production de simulations ou suppriment des erreurs numériques de calcul. À cette fin, les scientifiques peuvent s'appuyer sur le supercalculateur Jean Zay opéré par le CNRS, l'un des plus puissants d'Europe et champion de l'efficacité énergétique grâce à sa technologie de refroidissement à eau tiède.

ÉTUDIER LES IMPACTS

Le changement climatique a un impact fort sur notre planète et sur ceux qui l'habitent. Les recherches des laboratoires du CNRS sont pleinement ancrées dans la société et explorent, d'un point de vue global comme local, les problématiques de ressources en eau, événements extrêmes, énergie, biodiversité, mais aussi agriculture, santé, urbanisme ou économie.

BIODIVERSITÉ

On estime qu'environ un million d'espèces végétales et animales sont menacées dans le monde. Le changement climatique influence la biodiversité (faune et flore) de plusieurs manières :

- Modification des cycles de vie : allongement, réduction, démarrage précoce ou tardif ...
- Impact sur le métabolisme et le développement : La modification d'un seul paramètre (température, humidité, composition chimique de l'atmosphère) mais aussi la combinaison de ces paramètres, permettant de favoriser le développement d'une espèce présente au détriment des autres.
- Migration des espèces : par exemple, si les températures augmentent, végétaux et animaux vont migrer vers d'autres lieux plus favorables.
- Incapacité à s'adapter : certaines espèces n'arriveront pas à s'adapter suffisamment vite au changement climatique et risquent de disparaître.

À noter que les changements de la biodiversité peuvent à leur tour influencer sur le climat local et mondial en

Le dugong est un mammifère marin menacé de disparition en Nouvelle-Calédonie



ÉVALUER LA VULNÉRABILITÉ DE LA BIODIVERSITÉ DES ÎLES

Les scientifiques du CNRS ont évalué la vulnérabilité aux changements climatiques de plus de 300 îles et 850 espèces de mammifères endémiques. Près de 60 % des îles étudiées sont associées à une vulnérabilité élevée, les régions les plus vulnérables aux changements climatiques se localisant principalement dans l'océan Pacifique. La Nouvelle-Calédonie fait partie des archipels les plus vulnérables. Les scientifiques ont pu dresser un « portrait-robot » des espèces vulnérables aux changements climatiques : les mammifères endémiques insulaires les plus susceptibles de disparaître sont ceux ayant plutôt un régime alimentaire spécifique et qui présentent des temps de génération élevés, qui ne leur permettra pas de fuir ou s'adapter.

modifiant l'absorption et l'émission des gaz à effet de serre, et les grands cycles hydro-géochimiques associés. D'autres facteurs que le seul changement climatique sont responsables du déclin de la biodiversité ; la pollution en est un exemple.

SANTÉ

Le changement climatique a un impact sanitaire à court et moyen terme.

- On s'attend à ce que les événements estivaux de pollution atmosphériques soient plus intenses avec le réchauffement climatique en zone urbanisée.
- Les inondations provoquent des blessures mais aussi des contaminations, l'eau et les sols ayant été potentiellement pollués par les déchets, notamment par ceux issus de l'activité industrielle.
- Avec le stress thermique lié aux vagues de chaleur, certaines fonctions vitales du corps humain risquent de ne plus être assurées (déshydratation, problèmes cardiovasculaires) avec des effets socialement extrêmement inégaux.
- Les conditions de travail en extérieur durant les vagues de chaleur ou les événements extrêmes

ESTIMER LE PRIX DE LA SANTÉ

En estimant le montant que nous serions prêts à payer pour éviter les décès associés à la pollution, on peut comparer plus facilement des politiques publiques et leurs bénéfices attendus. Les économistes du CNRS ont calculé que si l'on parvenait à respecter la valeur guide du niveau de pollution recommandée par l'OMS dans les 20 000 communes françaises qui la dépassent, on pourrait éviter près de 18 000 décès prématurés, soit environ 400 000 années de vie. Cela correspondrait à 53 milliards d'euros par an lorsque la mortalité est exprimée en décès prématurés évités, et à environ 32 milliards d'euros lorsqu'elle est exprimée en années de vie gagnées.

deviennent de plus en plus difficiles et conduisent à une augmentation des accidents et des maladies.

- L'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère, implique le développement de végétaux dont certains sont allergènes (bouleau, ambroisie ...).
- La hausse globale des températures entraîne l'augmentation de l'humidité, qui est favorable à de nombreux agents pathogènes. Par ailleurs, avec des saisons moins marquées, bon nombre de pathogènes pourraient davantage sévir.
- Avec la multiplication des événements extrêmes, des effets sur la santé mentale et le stress sont également à prévoir.



En France, selon Santé Publique France, 40 000 décès sont attribuables aux particules fines chaque année

Barrage pour les algues sargasses réalisé pour prévenir leurs invasions



© Florence MENEZ / Damien DEVAULT / Pascal Jean LOPEZ / BOREA / CNRS

TERRITOIRES

Sécheresses, érosion, submersion, tempêtes, inondations : les manifestations du changement climatique seront différentes selon les régions de l'Hexagone. Une compréhension fine des bouleversements à venir est nécessaire pour anticiper les impacts à l'échelle régionale et locale. Les collectivités territoriales sont des acteurs clés car elles peuvent agir au travers de leurs différentes politiques publiques (déplacements, logement, bâtiment, commande publique), mais aussi en développant des stratégies d'adaptation (via les choix d'architecture et d'aménagements, la gestion de la présence de l'eau ou du rapport aux espèces dites invasives) et des scénarii pour faire face aux événements climatiques extrêmes...).

PARTAGER LES INFORMATIONS SUR L'EAU ET L'AMÉNAGEMENT URBAIN

Lancé en 2016 entre le CNRS, Bordeaux métropole, Suez Le LyRE et l'agence d'urbanisme Bordeaux métropole Aquitaine, le programme partenarial régional de recherche « Stratégies de partage et traitement des informations sur l'eau et l'aménagement urbain » (Spatieau) a pour objectif principal de développer une réflexion sur les stratégies de diffusion, de partage et de traitement d'informations sur l'eau et l'aménagement urbain dans un contexte territorial changeant. L'intention étant d'analyser les dynamiques territoriales de l'aire métropolitaine bordelaise, un important travail de collecte, organisation et traitement de données est réalisé dans le cadre de conventions partenariales.

VILLES

Selon les Nations unies, une personne sur deux habite dans les villes aujourd'hui et ce seront deux personnes sur trois à l'horizon 2050. Les enjeux sanitaires du changement climatique y sont nombreux et parfois spécifiques : pollution de l'air et de l'eau, crues, îlots de chaleur - un phénomène qui amplifie les vagues de chaleur au sein des grandes villes ... Initier des actions à l'échelle urbaine peut rapidement porter ses fruits mais implique de connaître la vulnérabilité propre de la ville en fonction de l'ensemble de ses caractéristiques topographiques, démographiques, économiques et sociales, notamment en termes d'inégalités. C'est l'objet du programme de recherche « Villes durables et bâtiments innovants » co-piloté par le CNRS.

LUTTER CONTRE LES ÎLOTS DE CHALEUR URBAINS

Pour lutter contre les îlots de chaleur, il faut tout d'abord les identifier. C'est l'un des objectifs du projet MaPuce, auquel le CNRS a collaboré. À l'aide de données telles que l'occupation des sols, la hauteur des bâtiments, les matériaux de construction ou la typologie des habitants, les chercheurs ont modélisé les micro-climats urbains à l'échelle du pâté de maison pour une cinquantaine de villes en France. Ainsi, sur leurs cartes, apparaissent les zones souffrant le plus des pics de chaleur estivale, ce qui permet de faire un diagnostic et des recommandations aux urbanistes.

Pour identifier les paramètres qui ont un impact sur les taux de surmortalité ou de morbidité dans les différents environnements urbains, le projet de recherche H2C croise d'une part les données météorologiques obtenue dans le cadre de l'initiative Paname, et d'autre part les données épidémiologiques.



Lâcher d'un ballon sonde dans l'atmosphère pour un radiosondage sur les bords de Seine, à Paris

TOURISME

Les conséquences du changement climatique ont de nombreux impacts sur le secteur touristique, soit en modifiant directement le climat et en rendant certaines régions moins accessibles ou plus dangereuses, soit en modifiant l'état des ressources qui sont au cœur des activités touristiques d'une région : réduction de la saison enneigée à basse altitude, baisse des débits et niveaux des cours d'eau, hausse du niveau de la mer, intensité et fréquence des cyclones ou des périodes de mousson, dégradation des récifs coralliens, températures élevées en ville...

© Cyril FRÉSILLON / LGP / CNRS Photothèque



Coucher de soleil et restes d'une piscine privée détruite par l'ouragan Irma à St-Martin

VOYAGER OU NE PAS VOYAGER ?

Le projet européen Soclimpact vise à modéliser les effets du changement climatique à échelle réduite et leurs impacts socio-économiques dans les îles et archipels européens pour 2030-2100 et à évaluer les voies d'adaptation correspondantes. Un volet du projet, auquel ont collaboré des scientifiques du CNRS, propose notamment des données sur la manière dont le changement climatique affecte les décisions de voyage aux Antilles des Européens ; il présente également une série de projections à plus ou moins long terme sur les risques liés aux secteurs du tourisme et du transport maritime.

JUSTICE CLIMATIQUE

L'aggravation des changements climatiques pose de manière aiguë des questions de justice climatique. À l'échelle internationale, comme nationale, les principaux émetteurs ne sont généralement pas les plus vulnérables aux changements climatiques. Les négociations internationales ne parviennent que très imparfaitement

à répondre à ces enjeux. C'est ainsi que la justice est de plus en plus saisie. La « judiciarisation » de la cause climatique s'explique en partie par la lenteur ou l'insuffisance des politiques et actions en la matière. En effet, près de 1500 actions en justice motivées par le réchauffement alarmant de la planète ont été lancées dans le monde et leur nombre ne cesse de croître. À travers des procès très médiatisés, des ONG, des populations autochtones, des élus, des collectivités locales et même des citoyens lambda cherchent à contraindre les gouvernements et les entreprises privées à relever l'ambition de leurs politiques. Les contentieux sont essentiellement nationaux pour l'instant, mais ils s'internationalisent aussi. La Cour européenne des droits de l'homme est, par exemple, saisie de plusieurs affaires contre des États européens. Le droit devient ainsi un levier d'action majeur dans le cadre de la transition énergétique.

MOBILISER LE DROIT CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Les groupements de recherche (GdR) sont des instruments de la politique scientifique du CNRS dont la vocation est de favoriser la pluridisciplinarité des recherches. Le GdR ClimaLex a pour objectif d'interroger le droit au regard des changements climatiques. Il vise la construction d'une véritable plateforme interdisciplinaire de savoirs, et la promotion de l'émergence de sujets prioritaires sur lesquels doivent agir de manière urgente non seulement le monde de la recherche, mais également les législateurs et décideurs politiques (aux niveaux national, territorial et local).

© Lorie Shaul



Participants à la marche pour la science à Saint Paul, Minnesota en 2017

AGRICULTURE

Les changements climatiques affectent d'ores et déjà les activités agricoles. En effet, l'agriculture intensive (monoculture, apport importants d'engrais et pesticides, irrigation...) est très vulnérable aux changements climatiques, du fait de son hyper spécialisation. Une refonte en profondeur des modèles agronomiques (polyculture-élevage) et économiques (limitation des intrants, circuits-courts) est nécessaire pour permettre

de s'adapter à ces changements en limitant les catastrophes inhérentes aux grandes variations auxquelles nous devons faire face (sécheresses, crues, invasions de ravageurs...). Ces changements doivent être accompagnés de recherches pluridisciplinaires pour prédire les scénarii d'évolution des capacités agronomiques, de la biodiversité mais aussi des mutations socio-économiques que cela va engendrer. C'est notamment l'objet de l'institut de convergence Cland dans lequel le CNRS est impliqué.

ÉCLAIRER LES DÉCIDEURS

LE CNRS, UN DES CONTRIBUTEURS MAJEURS DU GIEC

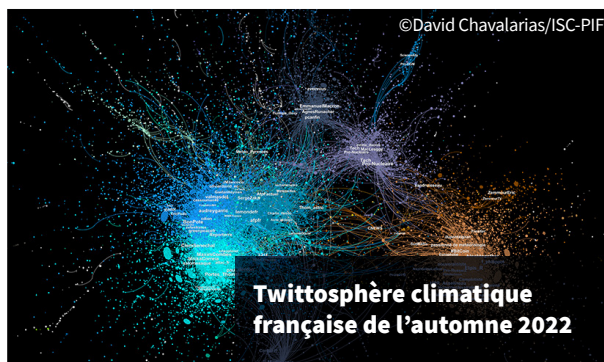
Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) fournit des évaluations détaillées de l'état des connaissances scientifiques, techniques et socio-économiques sur les changements climatiques, leurs causes, leurs répercussions potentielles et les stratégies de mitigation. Il s'agit d'un organe scientifique et intergouvernemental dans lequel le CNRS joue un rôle de tout premier plan, ainsi qu'en témoigne sa contribution aux différentes évaluations. Au-delà de cette participation directe aux travaux du GIEC, la contribution scientifique du CNRS à l'étude du changement climatique peut également s'estimer au regard des articles scientifiques sur lesquels s'appuient ces évaluations. À titre d'exemple, le CNRS est la première affiliation contributrice à la bibliographie du volume 1 du 6^{ème} rapport du GIEC (14 000 articles scientifiques). En effet, près de 1 400 des 32 500 auteurs sont affiliés au CNRS (voir dos du document).

LE CNRS, AU PLUS PROCHE DES PROBLÉMATIQUES DES TERRITOIRES

En lien avec des chercheurs du CNRS, des GRECs (Groupes régionaux d'experts sur le climat) se sont constitués dans la plupart des grandes régions françaises afin d'apporter aux acteurs du territoire des connaissances facilitant le déploiement de stratégies d'adaptation au changement climatique, mais également de diffuser les connaissances scientifiques auprès des citoyens : Acclima-Terra en Nouvelle-Aquitaine, Grec-Sud en Provence-Alpes-Côte d'Azur, Grec Alpes-Auvergne, Giec normand, Reco en Occitanie, Grec francilien, Synergile en Guadeloupe... Plus largement, les sujets de recherche sont liés à des problématiques locales, que les chercheurs travaillent souvent en lien avec les acteurs du site choisi. La recherche sur le changement climatique est ainsi très ancrée dans les territoires et partagée avec les élus, les associations, les collectivités territoriales et les habitants.

ANALYSER LA DÉSINFORMATION

Le Climatoscope est un projet CNRS qui observe et analyse le débat climatique sur la plateforme Twitter à l'échelle mondiale, en français et en anglais. L'observatoire collecte des centaines de milliers de tweets qui concourent à semer le doute sur la réalité du changement climatique. En s'appuyant sur des graphes représentant les relations entre les auteurs des tweets, les « like », les partages, etc, les scientifiques sont en mesure d'identifier les forces en présence, l'évolution des débats dans le temps, et même les stratégies des différents camps pour faire passer leurs messages.



LES SERVICES CLIMATIQUES

Les résultats des projections climatiques réalisées par les groupes de modélisation permettent d'aborder des questions de plus en plus complexes. La compréhension du fonctionnement des multiples interactions entre climat, environnement et société ne cesse de s'améliorer. De ce fait, les résultats des projections climatiques ont une portée qui va au-delà des travaux de recherche. Ils peuvent contribuer à l'adaptation de la société à travers certains secteurs d'activité, les gouvernements, les collectivités locales. Le cadre mondial de développement des services climatiques a été défini lors de la 3^{ème} conférence mondiale sur le climat en 2009. Ils se déclinent sous forme de plateformes permettant de faire dialoguer d'une part les producteurs de données climatiques issues d'observation ou de simulation, et d'autre part les utilisateurs (décideurs publics, industriels, citoyens). Ce dialogue permet de transformer les résultats de la recherche en produits opérationnels pour différents types d'utilisateurs. Les équipes françaises sont fortement impliquées dans ces développements aux niveaux national et européen (service européen Copernicus ou national Drias). Dans le cadre de France 2030, le programme de recherche TRACCS a pour objectif de développer des modèles et interfaces de plus en plus pertinents vis-à-vis des questions de société, et en particulier la question des risques liés aux extrêmes.

INFORMER LA SOCIÉTÉ

La science et les scientifiques sont aux avant-postes de la crise climatique, ce qui confère au CNRS une responsabilité particulière en terme de communication vis-à-vis de la société, qui a besoin de mieux comprendre ce qui la touche, et vis-à-vis des décideurs, qui ont besoin d'éléments d'information objective pour mettre en place par exemple des stratégies d'adaptation.

Au travers de ses différents médias (CNRS Le Journal, Carnets de science, chaîne Youtube, réseaux sociaux, sites web), et investissant différents formats de communication (reportages vidéo ou photo, film d'animation ou livres ...), ou encore via ses relations presse, le CNRS communique sur les dernières avancées scientifiques mais propose aussi régulièrement des décryptages sur des sujets spécifiques.

DES NUMÉROS SPÉCIAUX

Carnets de science



Cnrs Le Journal



DES LIVRES

Tout comprendre (ou presque) sur le climat (Cnrs éditions, mars 2022)



Plus de **45 000** ventes

Le livre a été envoyé à près de **2 000** élus

DES CONFÉRENCES DE PRESSE

En 2021-2022



« Le climat éclairé par la science »

« Climat : notre avenir sous l'œil des scientifiques »

« Océan et climat »

« Antarctique »

DES EXPÉRIENCES DE SCIENCE PARTICIPATIVE

Le Blob et la démarche scientifique (Cnrs.fr, janvier 2022)



15 000 volontaires

Pour comprendre l'impact du changement climatique sur un organisme vivant

DES CONTENUS RÉGULIERS (EN LIGNE OU DANS NOS REVUES)

Le réchauffement en France s'annonce pire que prévu

(CNRS Le Journal, 17 octobre 2022)



430 000 vues

Quel climat en Europe en 2050 ?

(Chaîne Youtube CNRS, septembre 2021)



390 000 vues pour la version française

723 000 pour la version anglaise

PROPOSER DES SOLUTIONS

Face au changement climatique, et pour respecter les Accords de Paris, il faut non seulement baisser nos émissions de gaz à effet de serre, mais aussi agir sur le stockage de celles qui continueront d'être émises, soit en restaurant les écosystèmes qui ont – en principe – ce rôle, soit et en étudiant d'autres possibilités.

ACCÉLÉRER LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Produire une énergie décarbonée

Production décarbonée d'énergie solaire, éolienne ou marine, capacités de stockage durables et efficaces malgré les intermittences propres aux énergies renouvelables, mise en place d'une filière hydrogène pour produire de l'électricité et de la chaleur (piles à combustible), conversion de la biomasse en biofioul, grâce à l'électrochimie ou l'action de nouveaux catalyseurs, développement du photovoltaïque organique, ou encore valorisation du CO₂ via sa transformation en molécules susceptibles de devenir des carburants : ce sont quelques-unes des nombreuses pistes étudiées par les scientifiques du CNRS. Le programme de recherche France 2030 « Hydrogène décarboné » s'intéresse plus particulièrement aux problématiques de production, stockage, transport de l'hydrogène décarboné.

Améliorer l'efficacité énergétique

L'efficacité énergétique dans les bâtiments et l'industrie inclut l'allégement des structures métalliques, l'isolation thermique, le filtrage sélectif du rayonnement solaire et infrarouge, et la sobriété des techniques et procédés industriels. Ceci nécessite de « dessiner » les matériaux idéaux tout en portant une attention constante à la gestion sobre des matières premières stratégiques, en particulier les métaux. La découverte accélérée de ces matériaux du futur est un des objectifs du programme de recherche France 2030 « Dladem », co-piloté par le CNRS.

Optimiser la distribution

S'agissant de la distribution de l'électricité, l'enjeu concerne la construction de solutions appuyées sur les usages en utilisant par exemple l'énergie stockée chez les particuliers (batteries des véhicules électriques), en pilotant les équipements domestiques énergivores à l'échelle locale ou centralisée, etc. Les efforts portent également sur les réseaux électriques adaptatifs intelligents (« smart grids »). L'étude des interactions entre la transition énergétique et les économies exportatrices de combustibles fossiles ainsi que la prise en compte de l'écosystème énergétique font l'objet de recherches qui portent sur la description de l'ensemble du cycle de vie et visent à éviter des solutions faussement vertueuses (coûts cachés en énergie ou en CO₂).

DÉMULTIPLIER LE POTENTIEL DU PHOTOVOLTAÏQUE ORGANIQUE

Le photovoltaïque organique se développe rapidement : cette source d'énergie renouvelable en plein essor, ne nécessite pas de terres rares et est donc à faible empreinte écologique.

En changeant la disposition de certaines molécules, des scientifiques des laboratoires du CNRS sont parvenus à augmenter jusqu'à 6 fois la performance des cellules photovoltaïques organiques.

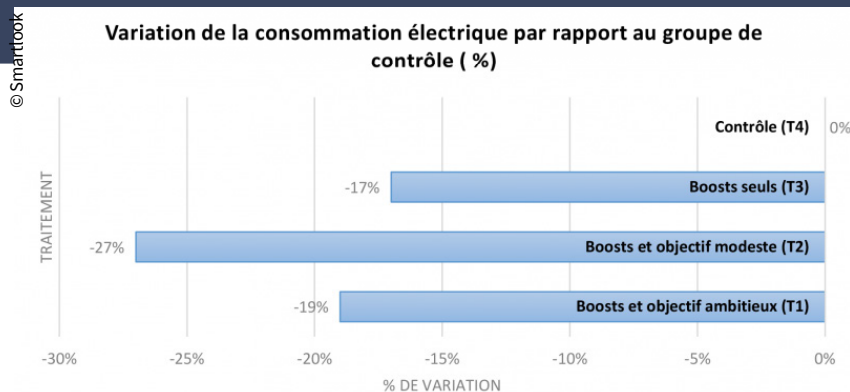
© Cyril FRESILLON/CNRS Photothèque



Cellules solaires organiques

AJUSTER LA CONSOMMATION GRÂCE AUX OUTILS COMPORTEMENTAUX

Les outils comportementaux peuvent-ils nous aider à réduire notre consommation énergétique de manière durable ? Dans le cadre du projet Smartlook, conduit par des scientifiques du CNRS en lien avec la Société monégasque de l'électricité et du gaz (SMEG), des chercheurs proposent de nouveaux outils comportementaux, les boosts, qui consistent à envoyer régulièrement à une centaine de foyers pilotes des conseils sous forme de tutoriels, afin de les aider à ajuster et réduire leur consommation électrique. Ces outils ont livré des résultats très concluants.



MODÉLISER ET PRÉVOIR LA PRODUCTION ET LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE

Plusieurs partenaires, dont le CNRS, ont créé le Centre interdisciplinaire Energy4Climate (E4C). Celui-ci propose deux outils au service de l'optimisation de la production et de la consommation énergétique.

- En combinant des approches physiques (observations locales ou satellitaires) avec des approches statistiques, E4Cast permet d'anticiper la production d'énergies renouvelables et la consommation électrique en fonction des conditions météorologiques et climatiques.
- E4Clim est un logiciel open source intégrant les besoins de flexibilité des énergies renouvelables variables (ERV) dans le développement des mix énergétiques régionaux. Son potentiel a été démontré par une étude de remise en service optimale du mix photovoltaïque-éolien italien de 2015.

CAPTER ET STOCKER LE CO₂

Le CNRS se mobilise aux côtés des acteurs industriels de la filière et les accompagne dans leurs travaux d'innovation qui visent à réduire les émissions de CO₂ d'origine anthropique. Trois axes de recherche sont explorés, dans des approches pluridisciplinaires, pour apporter une réponse globale : le captage, le stockage et la valorisation.

**Capsules qui injectent
du CO₂ dans le sous-
sol en Islande**



TRANSFORMER LE CO₂ EN ROCHE

L'idée est de réinjecter le CO₂ émis dans les couches profondes du sol, où des microorganismes pourraient le minéraliser est testée depuis 2008 en Islande dans le cadre du projet Carbfix, financé notamment par le CNRS. Il capte actuellement 95 % des émissions de CO₂ et de H₂S d'une centrale géothermique. Un système qui semble économiquement viable et prometteur.

RESTAURER LES ÉCOSYSTÈMES

Prendre soin des sols

Les sols contiennent 2 à 3 fois plus de carbone que l'atmosphère. Stocker plus de carbone dans les sols présente un intérêt pour compenser les émissions anthropiques de CO₂ mais joue également un rôle sur sa fertilité et la qualité de l'eau. Cependant, en raison de l'évolution des pratiques agricoles, 75 % des sols sont déjà dégradés et voient leur taux de carbone baisser. Le programme de recherche France 2030 « FairCarbon » que co-pilote le CNRS entend développer la contribution des écosystèmes continentaux à l'atténuation du changement climatique et à la neutralité carbone.

Gérer l'eau

À la fois ressource, milieu et élément vital pour la régulation du climat, le fonctionnement des écosystèmes et le développement humain, l'eau est un enjeu majeur du XXI^e siècle. Protéger et restaurer les milieux aquatiques, mieux gérer et partager cette ressource vulnérable, améliorer la qualité des services d'eau aux usagers sont les principales préoccupations. Sciences humaines et sociales, sciences de l'ingénierie, chimie et sciences de l'environnement : Les recherches autour de la question de l'eau sont abordées par une grande diversité de disciplines. C'est l'objet du programme de recherche France 2030 « OneWater » que co-pilote le CNRS.

Réguler le pH de l'océan

On estime que l'océan nous rend le service d'absorber environ 25 % des émissions anthropiques de CO₂. Mais ce service a un coût : l'océan s'acidifie (son pH diminue), ce qui empêche les organismes marins dits « calcifiants » de construire leur coquille ou leur squelette interne. Les écosystèmes marins ne sont pas les seuls impactés : l'économie maritime, notamment la pêche et la conchyliculture le sont aussi. Co-piloté par le CNRS, le programme de recherche France 2030 « Océan et climat » a notamment pour enjeu la prévision de la réponse de l'océan au changement climatique.

RESTAURER LES TOURBIÈRES

Les tourbières font partie des zones humides, c'est-à-dire des zones dont le sol est, en permanence ou temporairement, inondé en eau. En cas de sécheresse, elles ont la faculté appréciable de faire tampon et d'amoindrir son impact. Elles s'avèrent par ailleurs être d'importants puits de carbone. Leur préservation est donc cruciale.

Pour différentes raisons, certaines tourbières libèrent désormais du CO₂ vers l'atmosphère. La tourbière de la Guette, dans le Cher, fait depuis plusieurs années l'objet d'un fastidieux travail de restauration par les chercheurs. Il nous apprend beaucoup sur le fonctionnement de ces milieux et pourrait servir d'exemple de bonne pratique car les premières mesures obtenues sont encourageantes.

Mesure des échanges gazeux de carbone au niveau d'un patch de sphaigne implanté sur un dispositif expérimental de la tourbière de la Guette



© Cyril FRESILLON / ISTO / CNRS Photothèque



**Installation expérimentale
du projet CocoriCO2**

DÉSACIDIFIER L'Océan

Initié notamment par le CNRS, le projet CocoriCO2 teste plusieurs pistes de solutions pour réguler le pH en laboratoire puis en conditions réelles dans les sites conchylicoles. L'utilisation de macro-algues et de produits issus de déchets coquillés pourraient contribuer à rendre le milieu plus alcalin (basique) et remédier localement à l'acidification océanique.

Étudier les solutions fondées sur la nature (SfN)

Les SfN sont des approches innovantes de protection/restauration et gestion des écosystèmes, permettant de relever efficacement différents défis sociétaux, et à impacts positifs sur la biodiversité mais aussi sur le secteur socio-économique. Cependant, des approches scientifiques renouvelées sont nécessaires pour accompagner des changements profonds de conception, la mise en œuvre et l'évaluation des SfN, ainsi que l'émergence de nouveaux concepts et d'innovations économiques. Les SfN sont largement reconnues au niveau international (Green Deal), mais leur développement se heurte en France, à trois verrous majeurs :

- insuffisance de l'organisation de la communauté de recherche et de son accès à des infrastructures adéquates sur ce thème émergent ;
- lacunes de connaissances scientifiques concernant les mécanismes écologiques et sociaux qui sous-tendent les SfN, les approches et critères pour évaluer leur performance et les déployer à grande échelle, et la capacité de prédiction ;
- formation et transfert de connaissances qui n'intègrent pas encore les enjeux des SfN.

La France est confrontée au paradoxe d'accueillir des recherches internationales de haut niveau sur la biodiversité, mais d'être en retard dans l'étude des SfN. Le CNRS est co-pilote du programme de recherche France 2030 Solu-BioD, un programme intégré qui vise à débloquer cette situation, en favorisant le développement des SfN.

DÉPOLDÉRISER LE LITTORAL

Le littoral de la Nouvelle-Aquitaine s'étend sur près de 700 kilomètres de côtes sableuses et rocheuses, une zone tampon, qui procure de nombreux services écosystémiques, menacée par l'érosion et les épisodes de submersion marine. En effet, les marées, la houle, le vent, la pénurie des stocks sédimentaires ou encore l'activité humaine entraînent un recul du trait de côte d'en moyenne 0,5 à 1 mètre par an. Une érosion chronique qui va se poursuivre dans les prochaines décennies.

La « dépoldérisation » de certains anciens marais littoraux permet de remettre en libre évolution certaines dunes littorales progressivement grignotées et menacées de disparition et de préserver ainsi un corridor écologique qui joue aussi un rôle de rempart important contre la submersion marine. Le projet ANR Sono étudie l'impact d'une telle remobilisation sur la morphologie de la dune, la composition et l'abondance de la végétation dunaire.

© Cyril FRESILLON/EPOC/CNRS



Dispositifs « brise-vent » installés sur la plage de Biscarrosse. Souvent temporaires, ils permettent de lutter contre le transport aérien du sable, en particulier durant la période hivernale.

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE, GRAND DÉFI SOCIÉTAL DU CNRS

Dans son dernier Contrat d'objectifs et de performance, signé avec l'État, le CNRS a choisi de mettre en avant six grands défis sociétaux pour lesquels il a l'ambition d'apporter une contribution substantielle dans les prochaines années.

Parmi ces six défis, on trouve « Changement climatique » mais aussi « Santé et environnement », « Territoires du futur », « Transition énergétique ».

Par ailleurs, dans le cadre de France 2030, le CNRS est co-pilote de nombreux programmes de recherche qui concernent le climat. On peut en retrouver la liste ici : <https://www.cnrs.fr/fr/pepr>.



LE CNRS ET LE DERNIER RAPPORT DU GIEC

Contributions indirectes

Nombre de publications des principaux organismes français

Nombre de publications évaluées par le GIEC pour les principaux organismes français

Organismes de recherche français (Top 10)	Nombre de publications
CNRS	3 015
INRAE	466
CIRAD	178
IRD	153
IFREMER	56
BRGM	53
METEO France	50
INSERM	19
Mercator Océan	15
CEA	12

Créé avec Datawrapper

Nombre de publications des principaux organismes de recherche internationaux

évaluées par le GIEC pour l'AR6

Organismes de recherche internationaux (Top 20)	Nombre de publications
University of California system	3 212
CNRS	3 015
UDICE	2 302
NOAA	1 836
HELMHOLZ Association	1 718
Chinese Academy of science	1 591
United states department of energy	1 555
University of London	1 415
NASA	1 411
NCAR	1 385
Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)	1 346
Colombia University	1 277
ETH Zurich	1 237
University of Oxford	1 221
MET OFFICE	1 138
Université Paris Saclay	1 068
Utrecht University	1 065
University of Washington	1 065
University of Washington Seattle	1 050
Wageningen University & Research	1 022

Créé avec Datawrapper

CNRS

3 rue Michel-Ange, 75016 Paris

www.cnrs.fr

Réalisation et mise en page : INSU Communication

Impression : CNRS DR1 IFSEM secteur de l'imprimé

Juin 2023

Photo de couverture : Etude de l'impact des pratiques d'exondation (eau se retirant) et de mise en eau des zones humides d© Gilles Pinay/ CNRS Photothèque

Infographie P4-5 © Marion Schmitt

Photo des en-têtes : Lever du soleil sur l'observatoire et le refuge Vallot dans le massif du Mont-Blanc © Bruno JOURDAIN/LGGE/CNRS Photothèque



CONTACT

Groupe « Défi Changement climatique » du CNRS

dgds-defi-cc@cnrs.fr

01 44 96 44 02