

L'ADAPTATION DU PARC NUCLEAIRE D'EDF AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

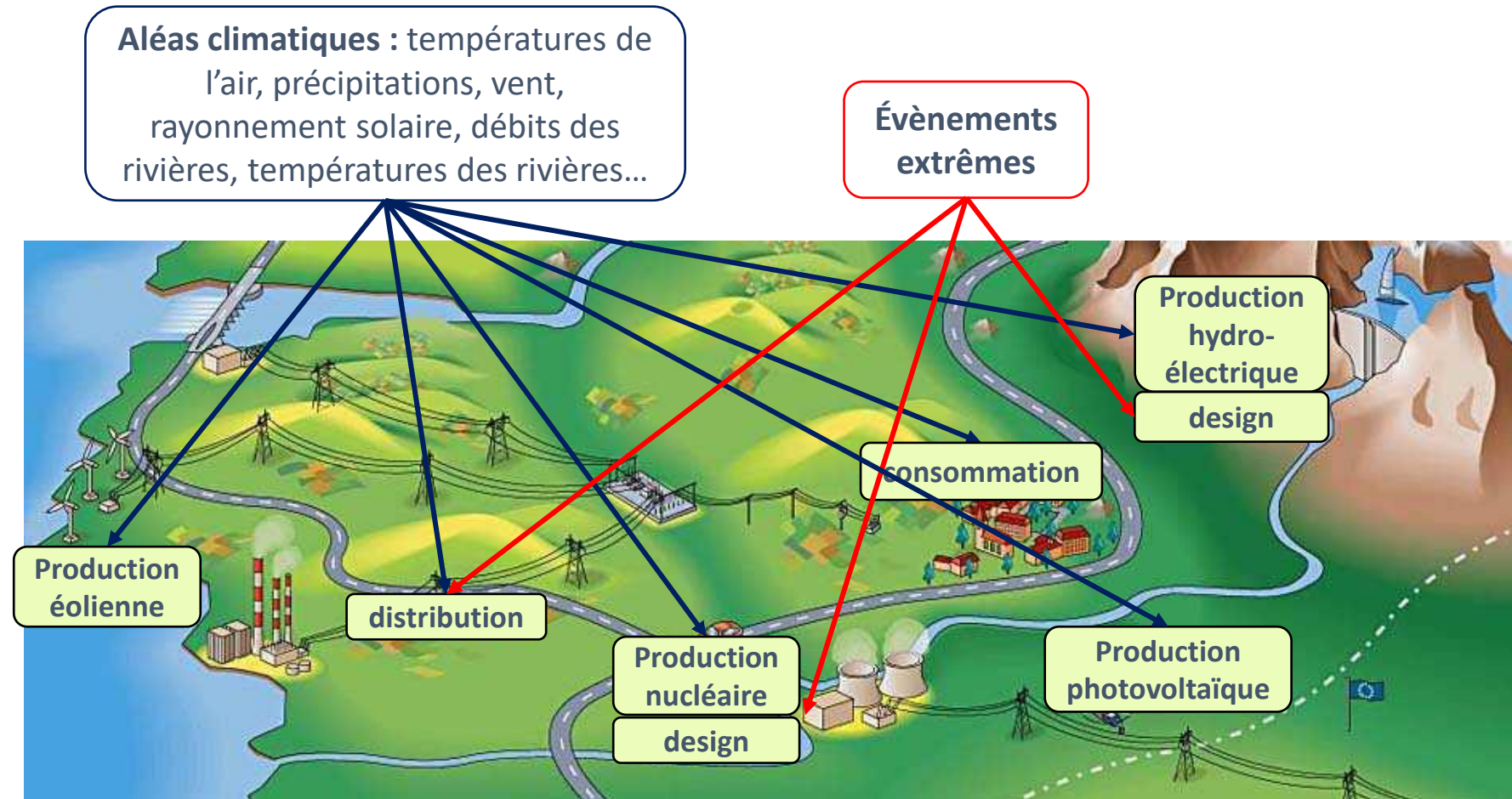
SFEN Rhône Ain Loire – 12 février 2025

*Bruno Le Corfec, chargé de mission à la Direction du
Parc Nucléaire et Thermique*

Introduction

EDF, une entreprise météo sensible

L'aléa climatique pour EDF = ressource mais aussi risque*

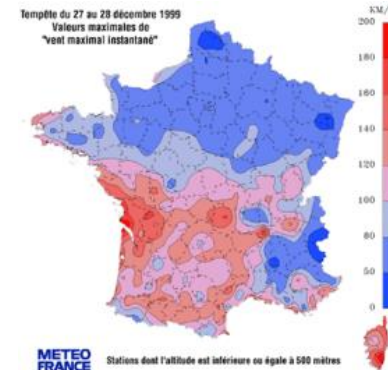
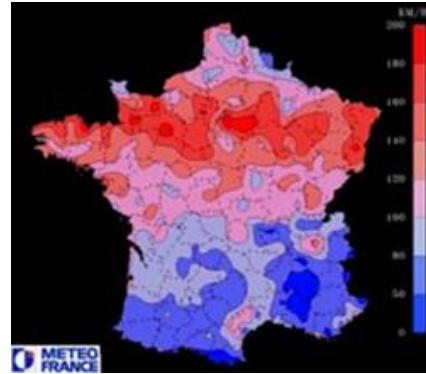


*Risques = risques physiques mais aussi éventuellement des risques / équilibre offre-demande

Les installations et modes de gestion sont adaptés au climat historique, mais le climat évolue

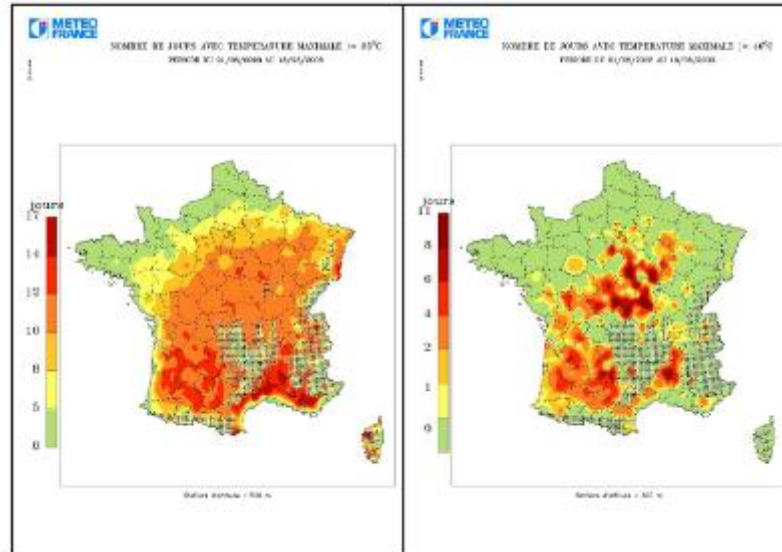
Du fait de la variabilité interannuelle à multi-décennale

Décembre 1999



Et du changement climatique

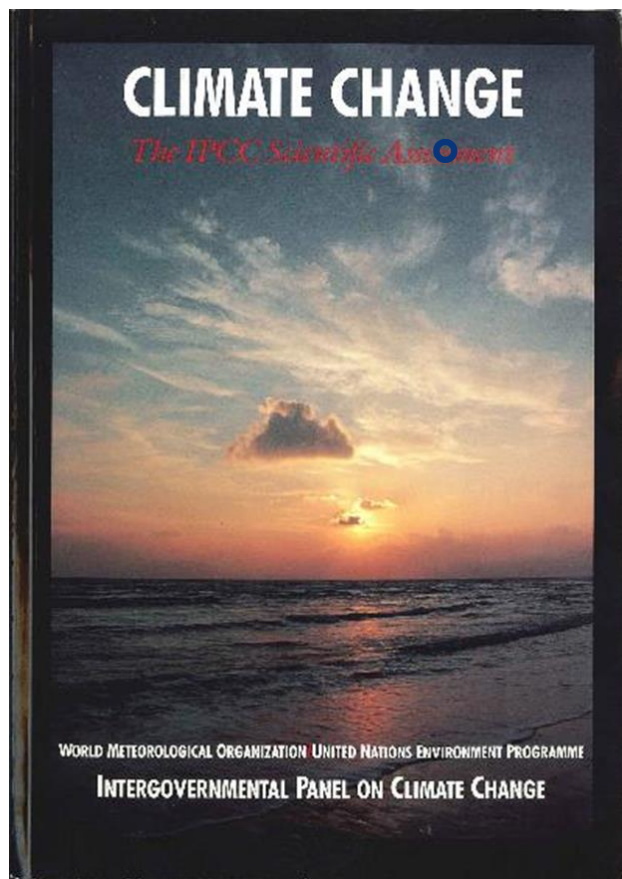
Août 2003



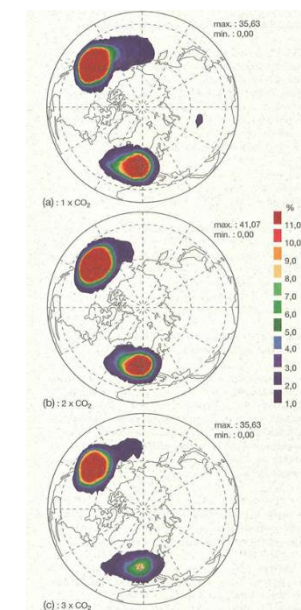
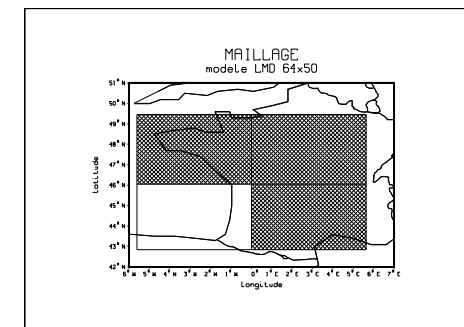
	threshold 3% points	Records for period 1950-2002		Records for period 1950-2003	
BORDEAUX	31.99	08/09/98	38.30	08/04/03	40.01
LYON	31.96	07/22/83	39.30	08/13/03	40.49
METZ	29.48	08/11/98	37.86	08/07/03	38.79
MONTELIBAR	33.21	07/06/82	39.49	08/05/03	40.49
ORLEANS	29.98	09/04/52	37.85	08/06/03	39.30
POITIERS	30.69	07/22/90	37.09	08/05/03	39.10
REIMS	29.11	08/11/98	37.07	08/12/03	38.90

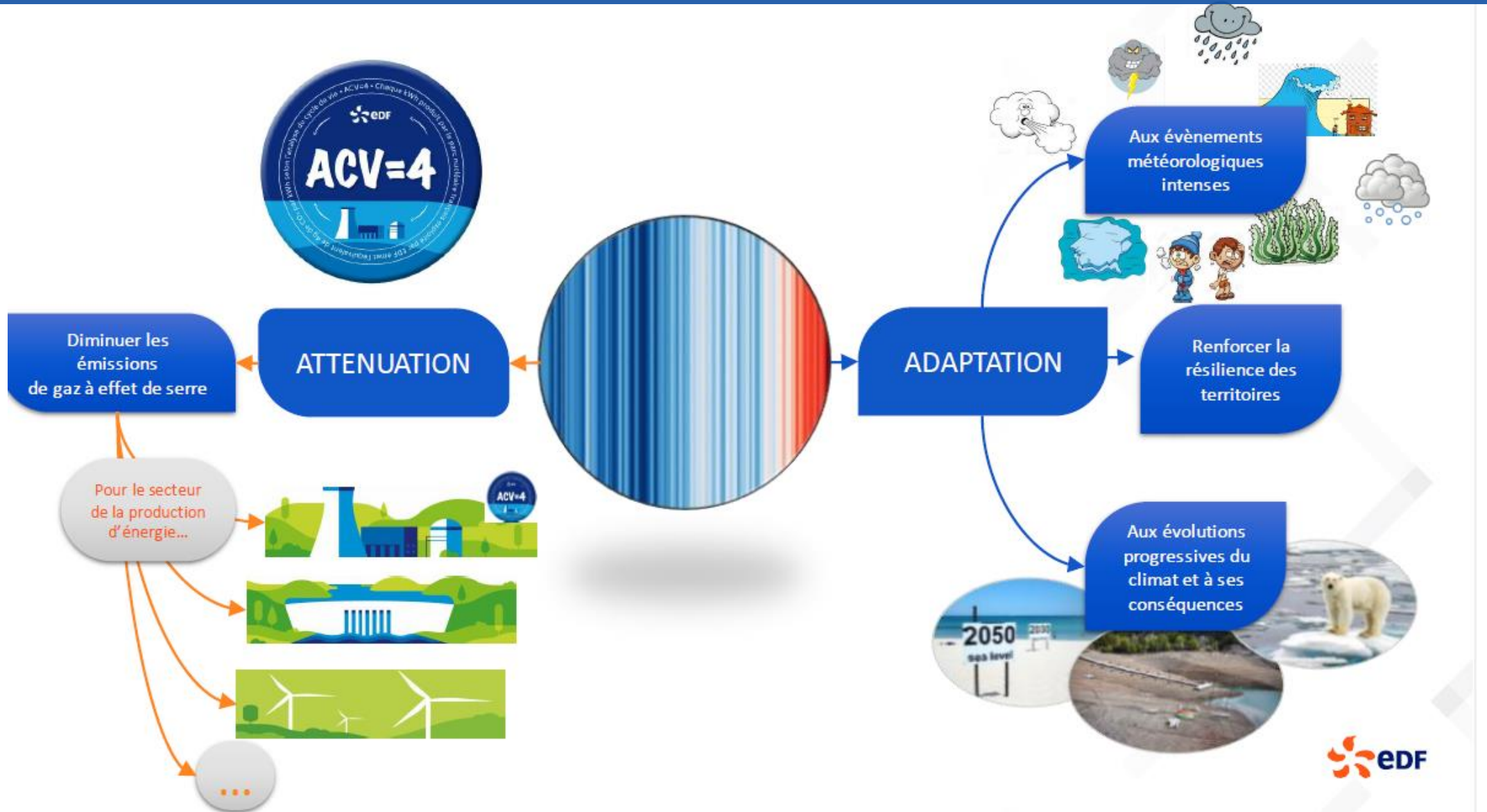
1990: 1^{er} rapport du GIEC et 1^{er} projet R&D sur le climat

Collaboration avec le Laboratoire de Météorologie Dynamique

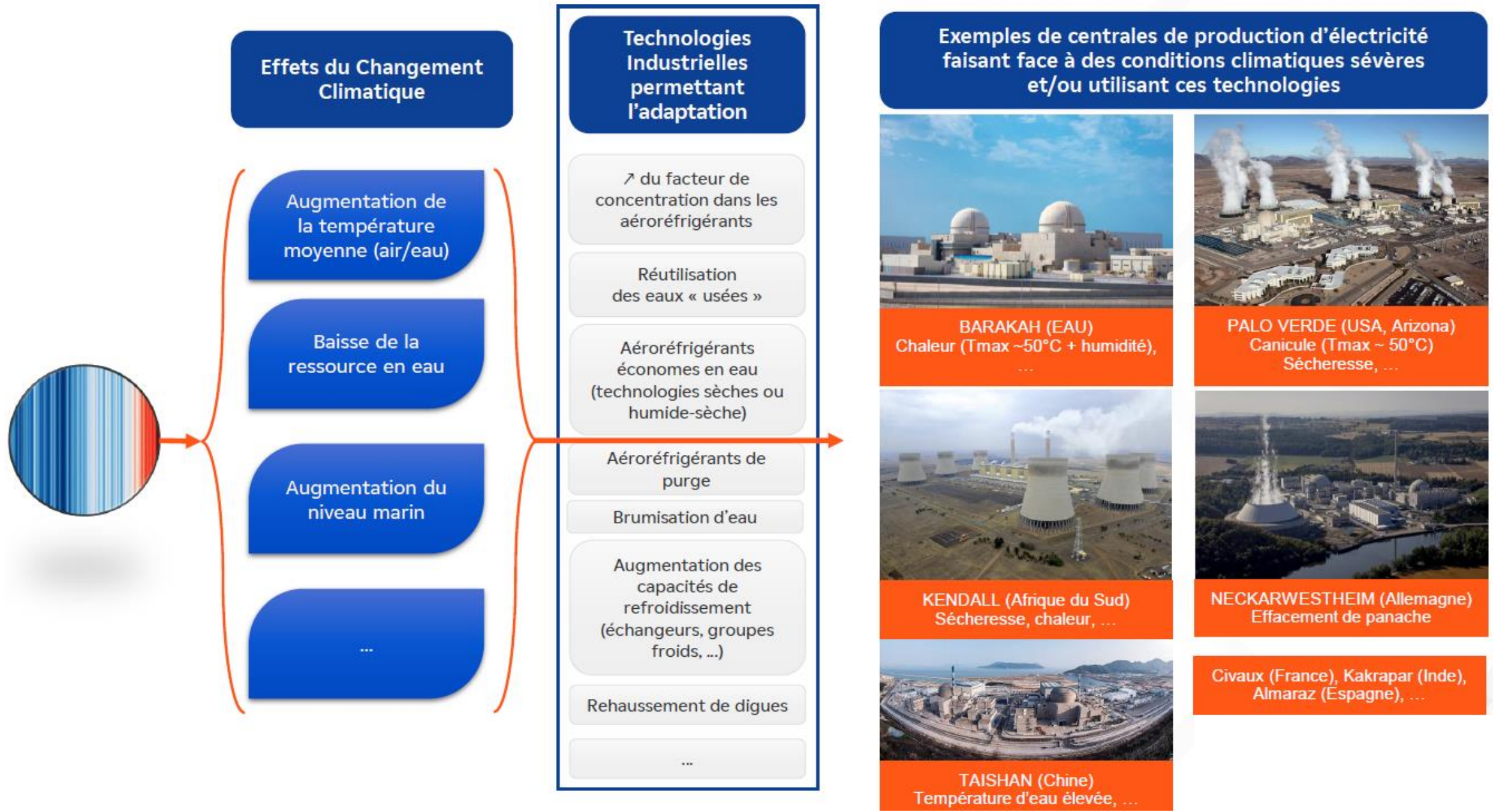


- Exploitation d'un modèle de circulation générale de l'atmosphère
- Étude de la variabilité de la circulation atmosphérique
- Simulation de l'effet de serre: le rôle des paramétrisations





LE NUCLÉAIRE : UNE ADAPTABILITÉ CONCRÈTE ET RÉALISTE

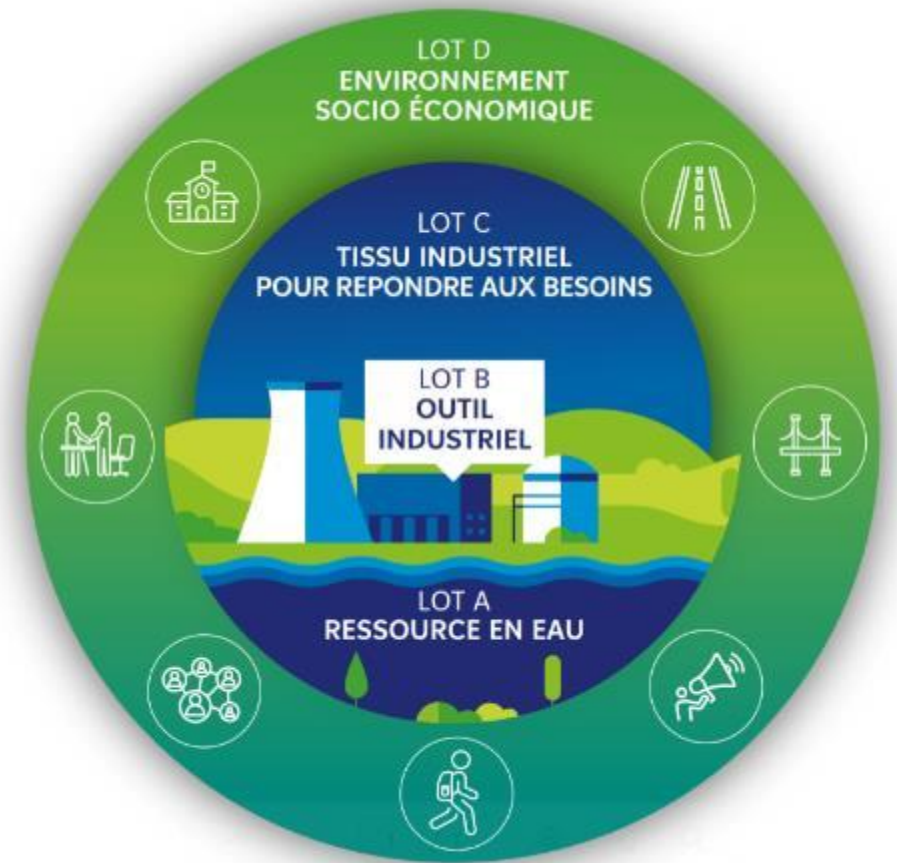




COMPRENDRE le dérèglement climatique et ses effets à l'échelle des territoires en intégrant son caractère systémique pour imaginer les futurs climatiques des territoires

EVALUER les impacts du changement climatique sur la centrale et le territoire : ressources en eau, outils industriels de production d'électricité, tissu industriel local, environnement socioéconomique...

MOBILISER l'ensemble des acteurs internes et externes sur les dimensions évolutives et systémiques du dérèglement climatique et de ses conséquences ; **& AGIR** pour s'adapter, changer de paradigme et (re)penser le futur pour orienter l'action vers un futur souhaitable.

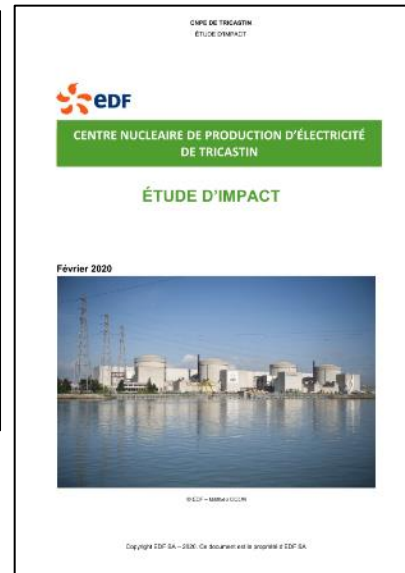
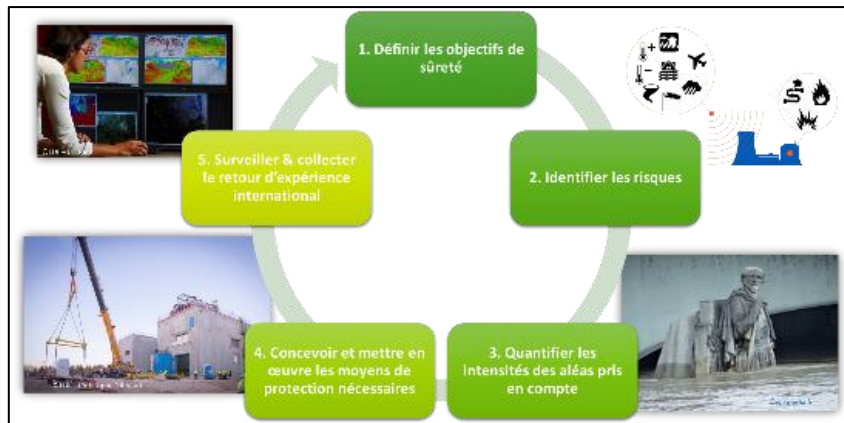




Démonstration de protection des Intérêts

Etude des Risques

Etude des Impacts



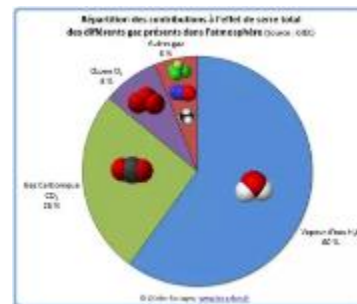
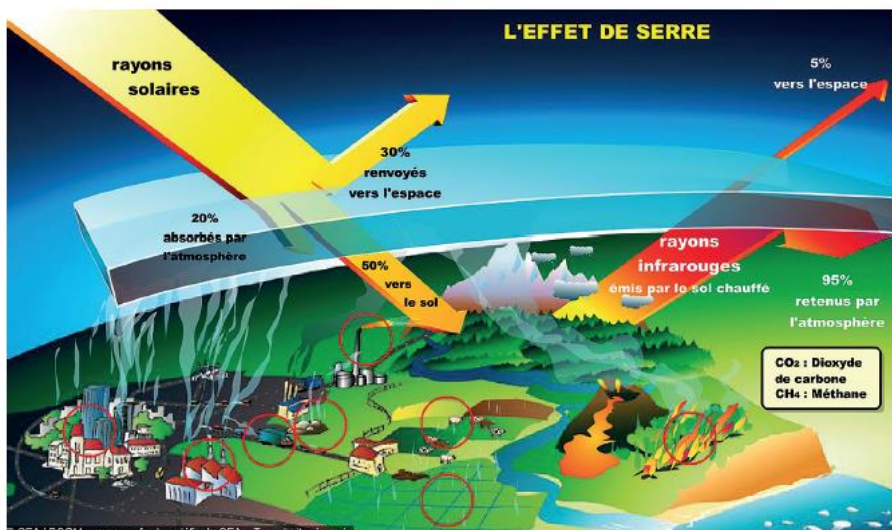
ADAPT vient en complément du processus de réexamen périodique.



Comprendre

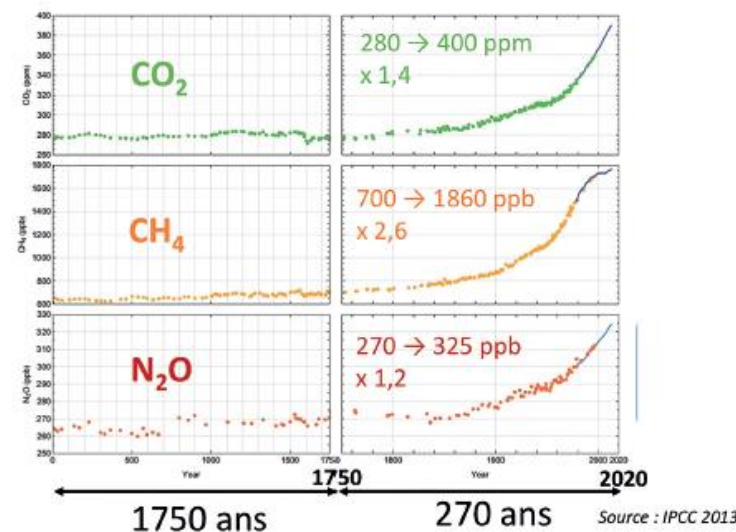
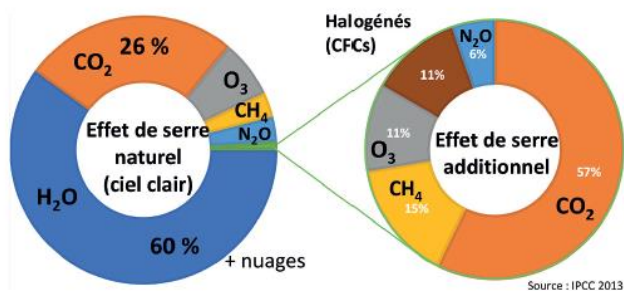
Un phénomène naturel

Grâce à ce phénomène naturel, la température moyenne globale terrestre est de 15°C



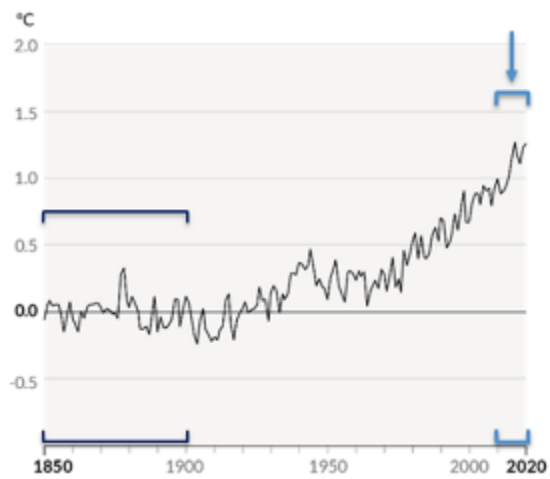
Source CEA/DCOM

Renforcé par les activités humaines





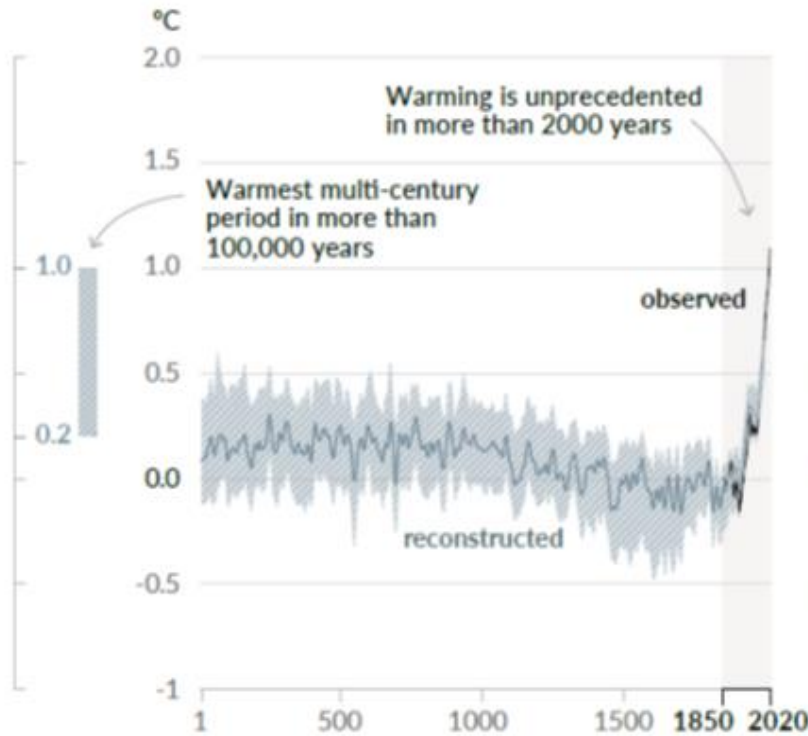
Il est désormais établi que l'influence humaine contribue à réchauffer le système climatique et à générer des changements rapides et étendus



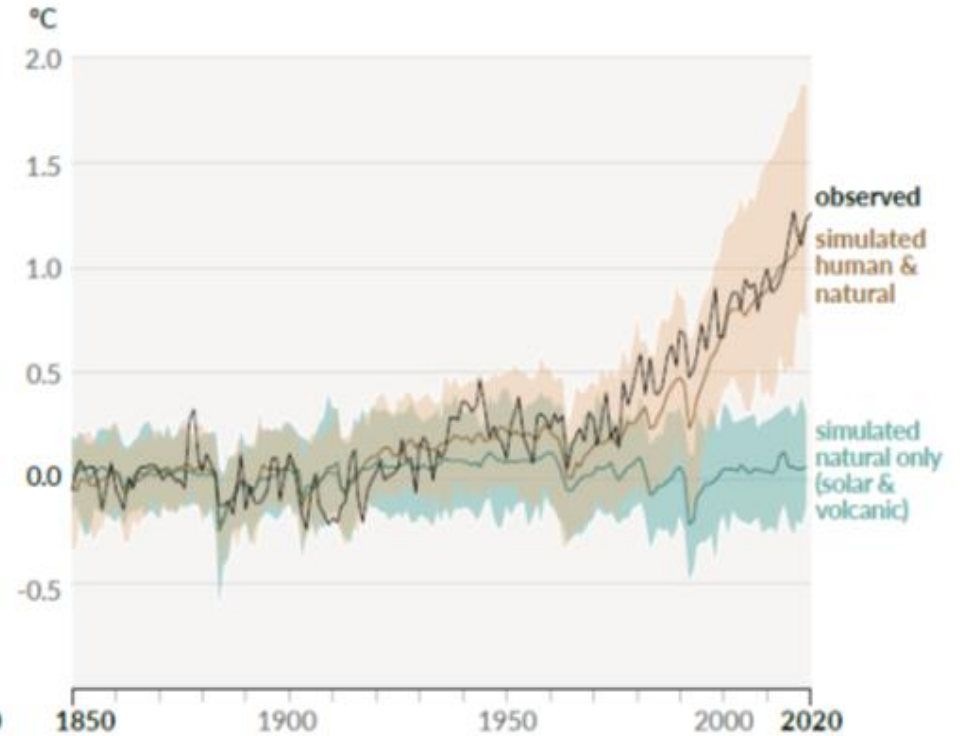
1.1°C warmer

Changes in global surface temperature relative to 1850-1900

a) Change in global surface temperature (decadal average) as reconstructed (1-2000) and observed (1850-2020)

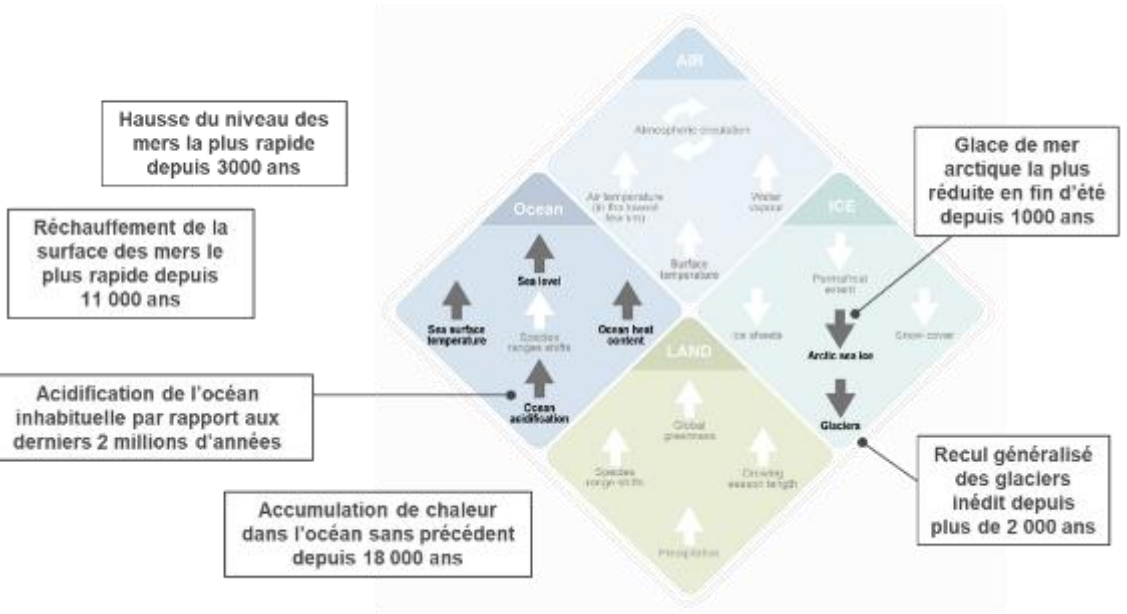


b) Change in global surface temperature (annual average) as observed and simulated using human & natural and only natural factors (both 1850-2020)



Inédit depuis au moins 2000 ans et expliqué par les émissions anthropiques

Dont des changements sans précédents dans l'histoire récente



Augmentation de température globale: +1,09°C [0.95 to 1.20] en 2011-2020 / 1850-1900 (+1,59°C sur les continents, +0,88°C sur les océans)

Recul des glaciers depuis 1990, **diminution de la banquise arctique entre 1979–1988 et 2010–2019** (environ 40% en septembre et 10% en mars)

Hausse moyenne du niveau de la mer de 20 cm entre 1901 et 2018, avec une augmentation passant de 1,35 mm/an entre 1901 et 1990 à 3,7 mm/an entre 2006 et 2018

Évolution de la biosphère terrestre: déplacement vers le Nord de la végétation et modification des cultures, des saisons de pousse, ...

Un réchauffement possiblement inédit à l'échelle de notre espèce

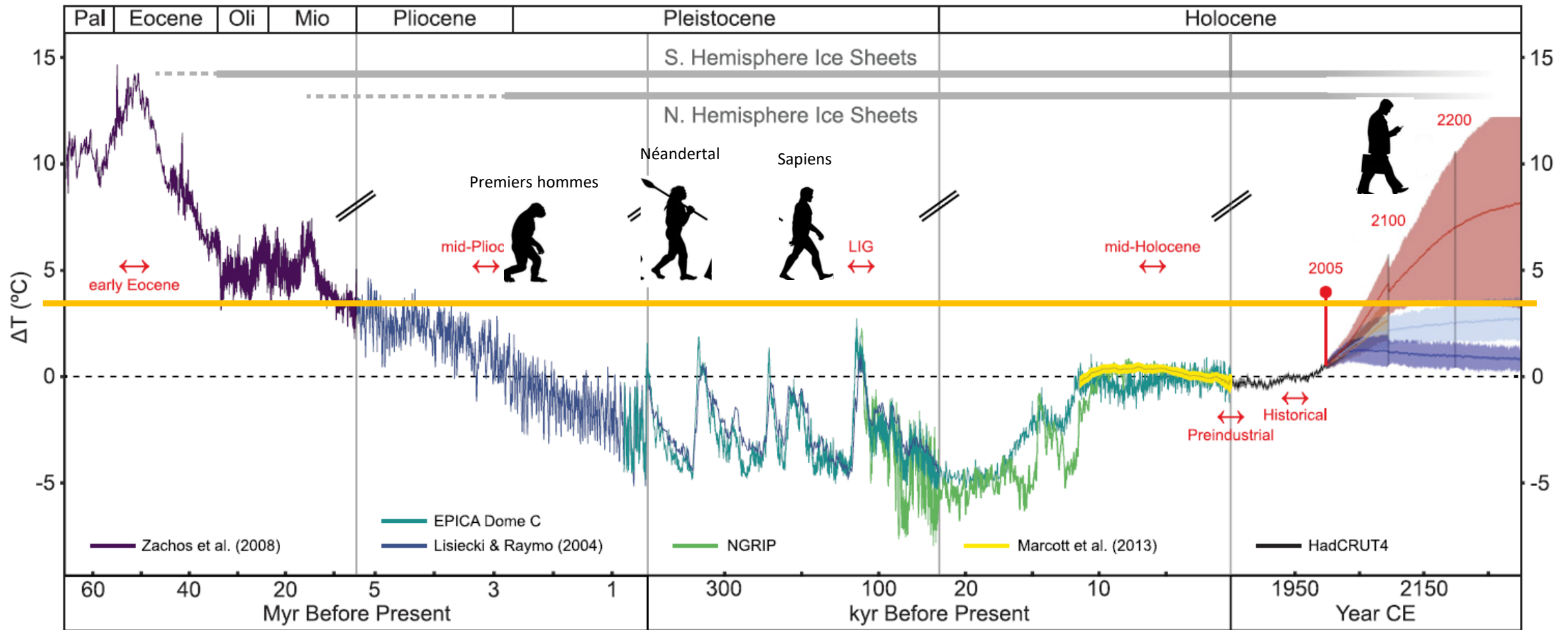
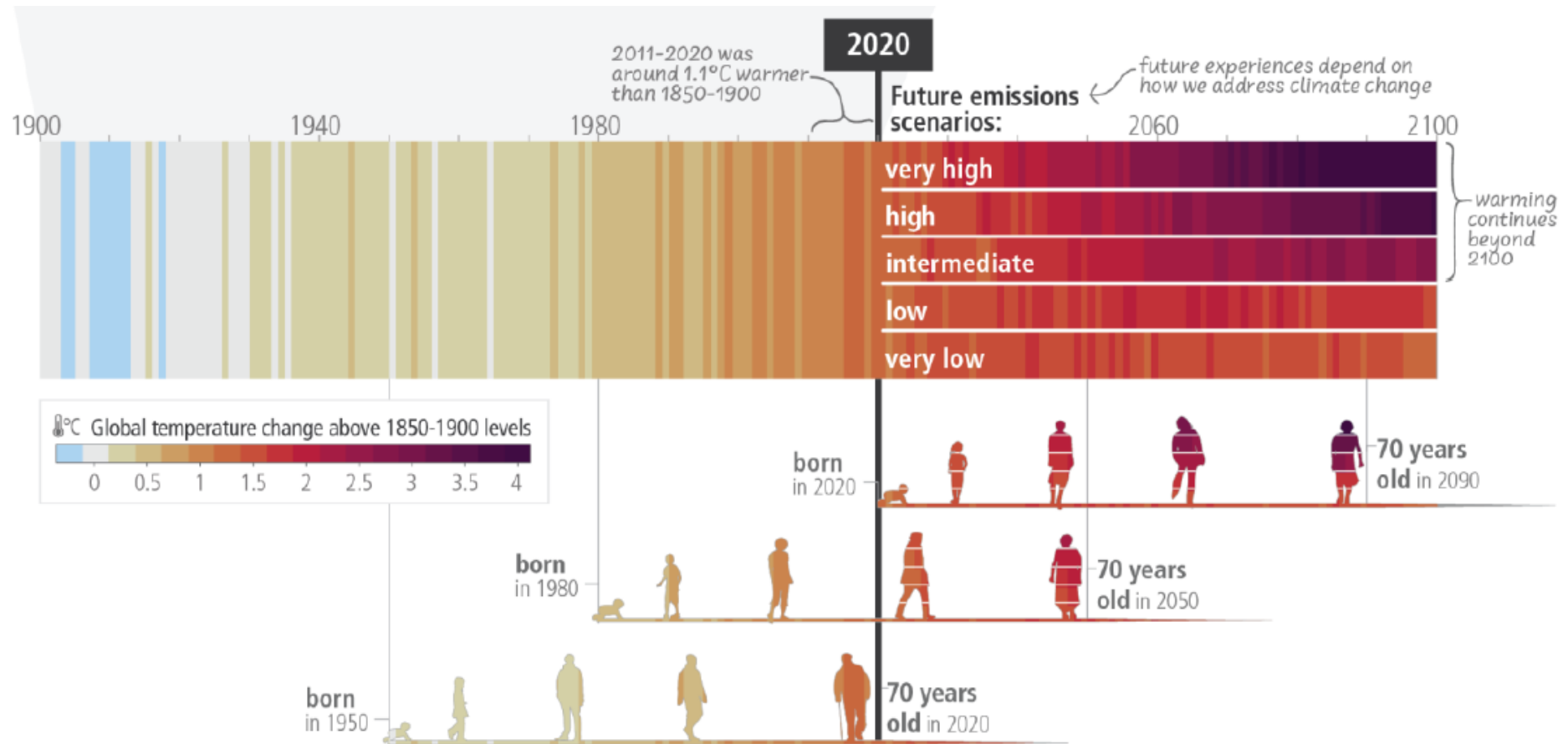


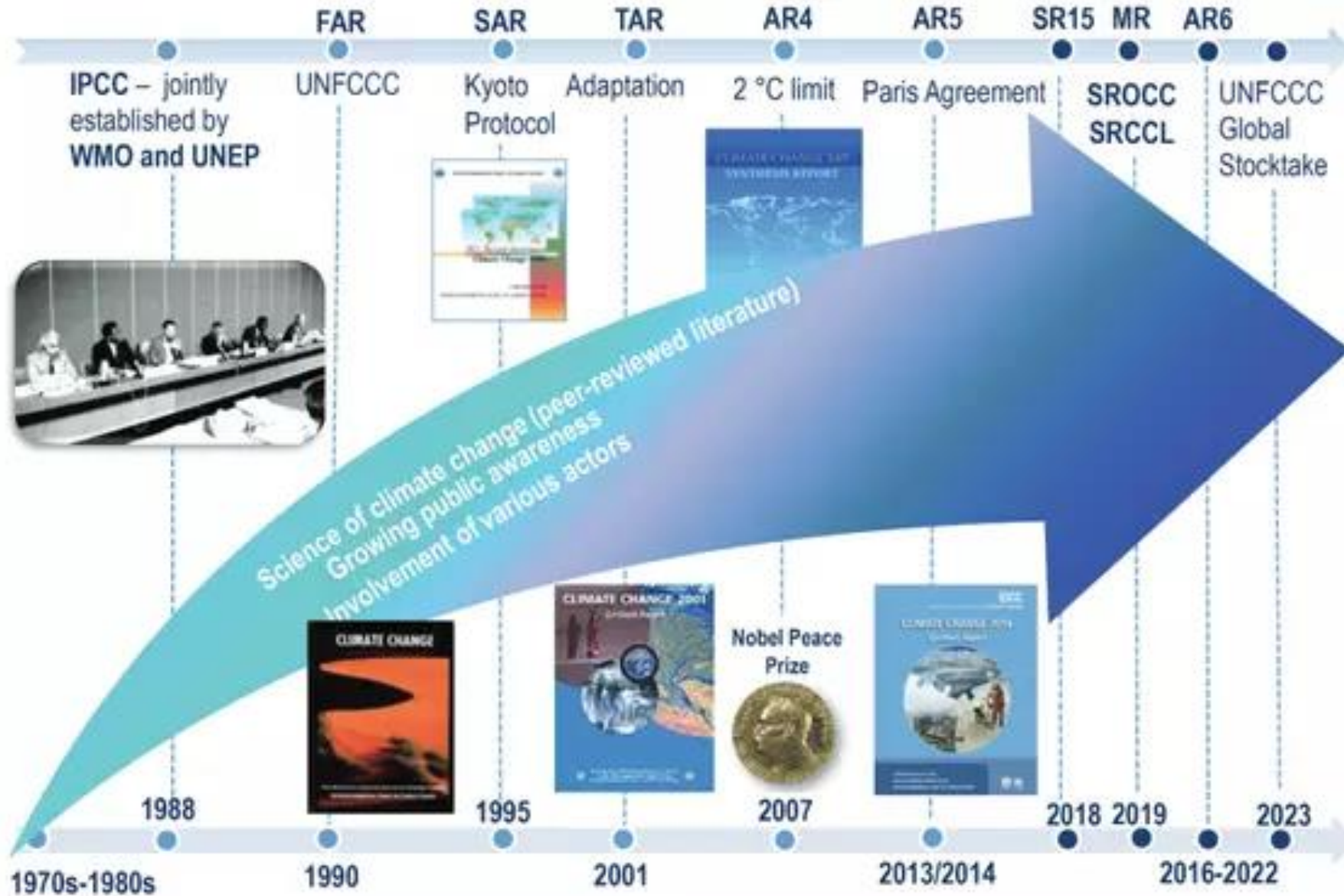
Fig. 1. Temperature trends for the past 65 Ma and potential geohistorical analogs for future climates. Six geohistorical states (red arrows) of the climate system are analyzed as potential analogs for future climates. For context, they are situated next to a multi-timescale time series of global mean annual temperatures for the last 65 Ma. Major patterns include a long-term cooling trend, periodic fluctuations driven by changes in the Earth's orbit at periods of 10^4 – 10^5 y, and recent and projected warming trends. Temperature anomalies are relative to 1961–1990 global means and are composited from five proxy-based reconstructions, modern observations, and future temperature projections for four emissions pathways (*Materials and Methods*). Pal, Paleocene; Mio, Miocene; Oli, Oligocene.



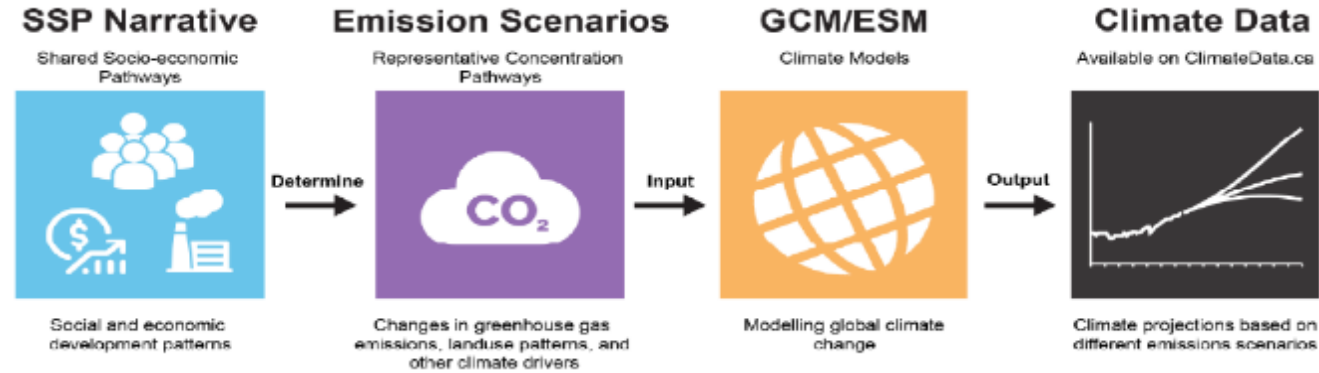
Nous sommes dans une dérive climatique, sans retour possible à la normale et non dans une crise climatique. Les futurs possibles sont totalement liés à notre volonté d'agir :

ATTENUATION et ADAPTATION

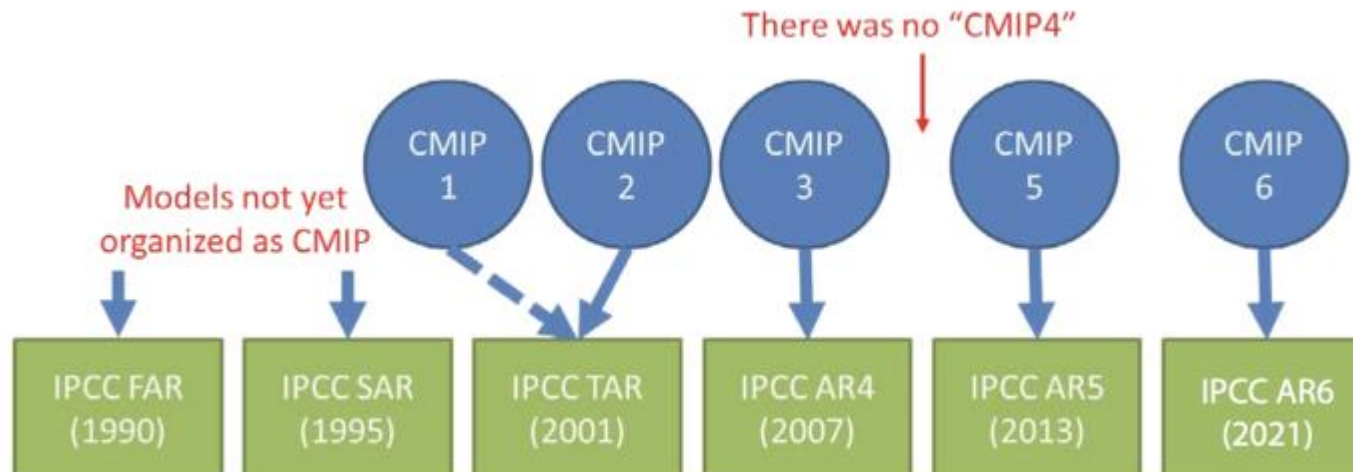
Un suivi organisé à l'échelle internationale

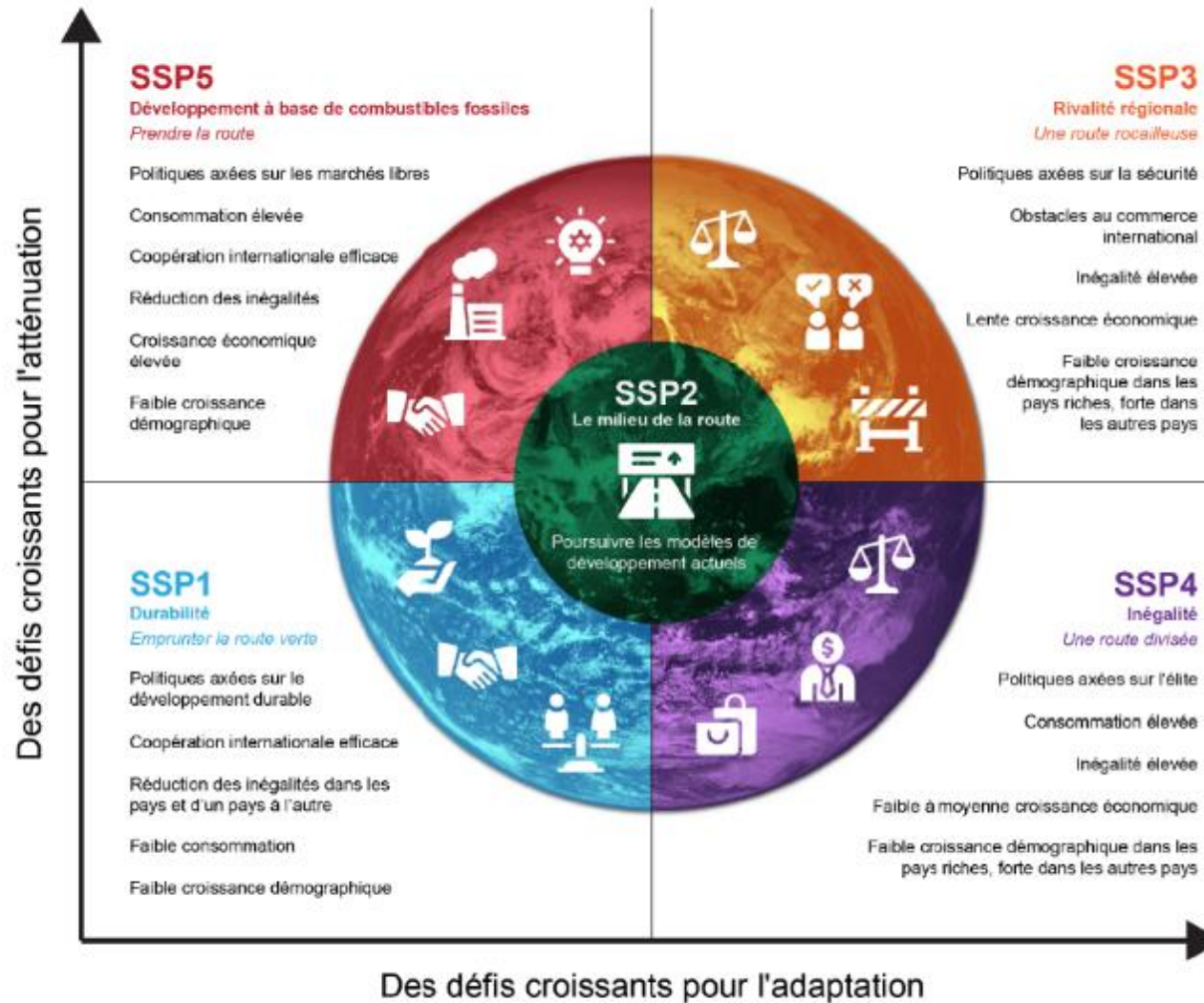


Via des projections climatiques organisées à l'échelle internationale

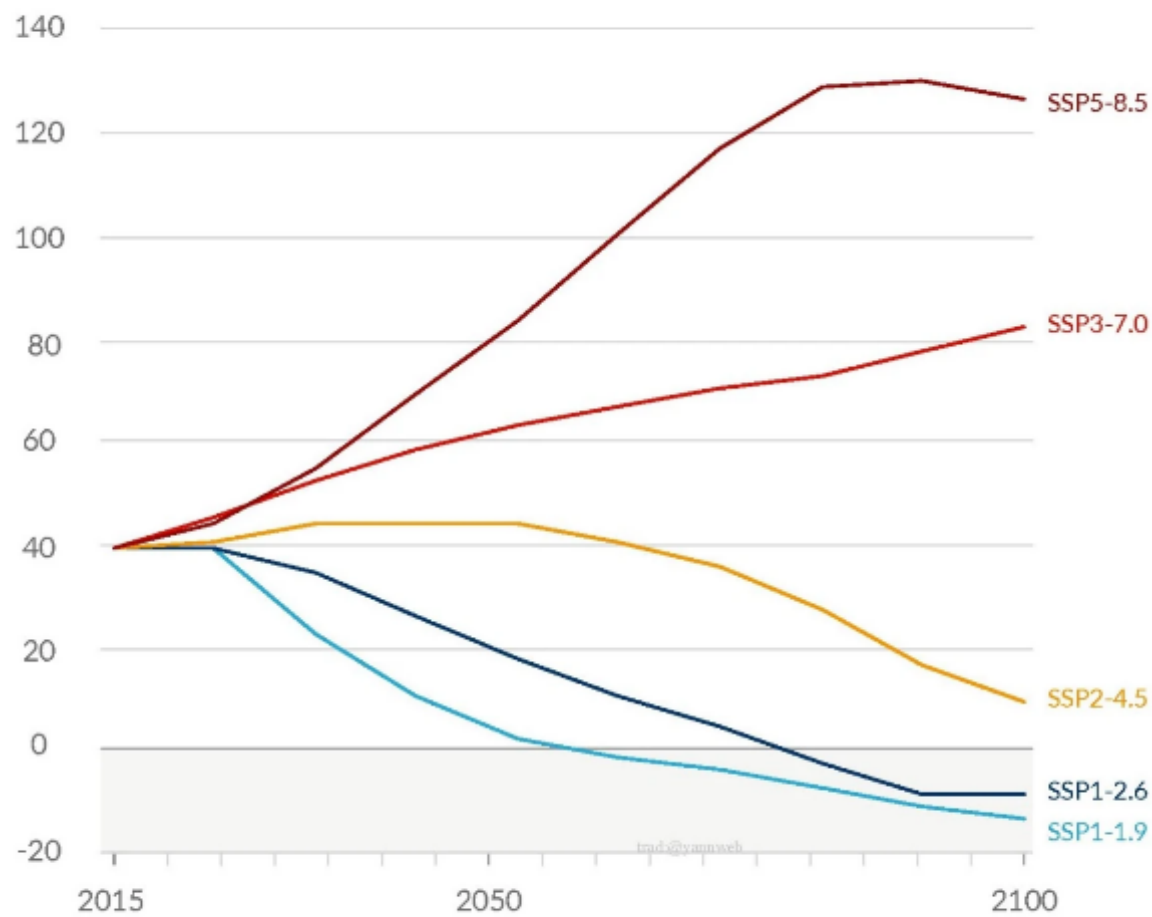


dans le cadre des projets scientifiques CMIP

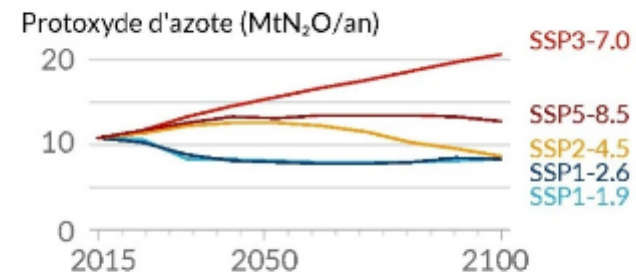
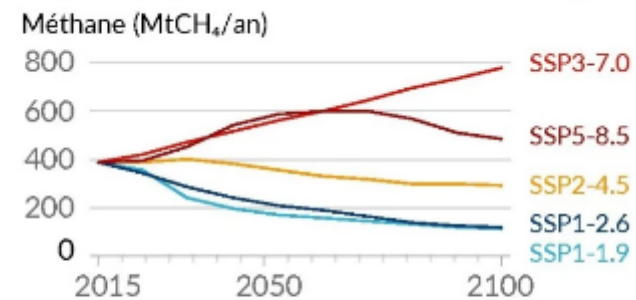




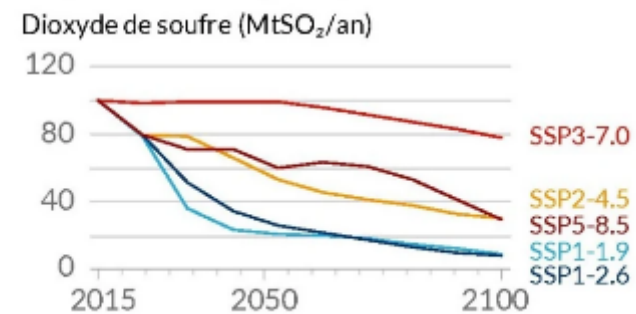
Dioxyde de carbone (GtCO₂/an)



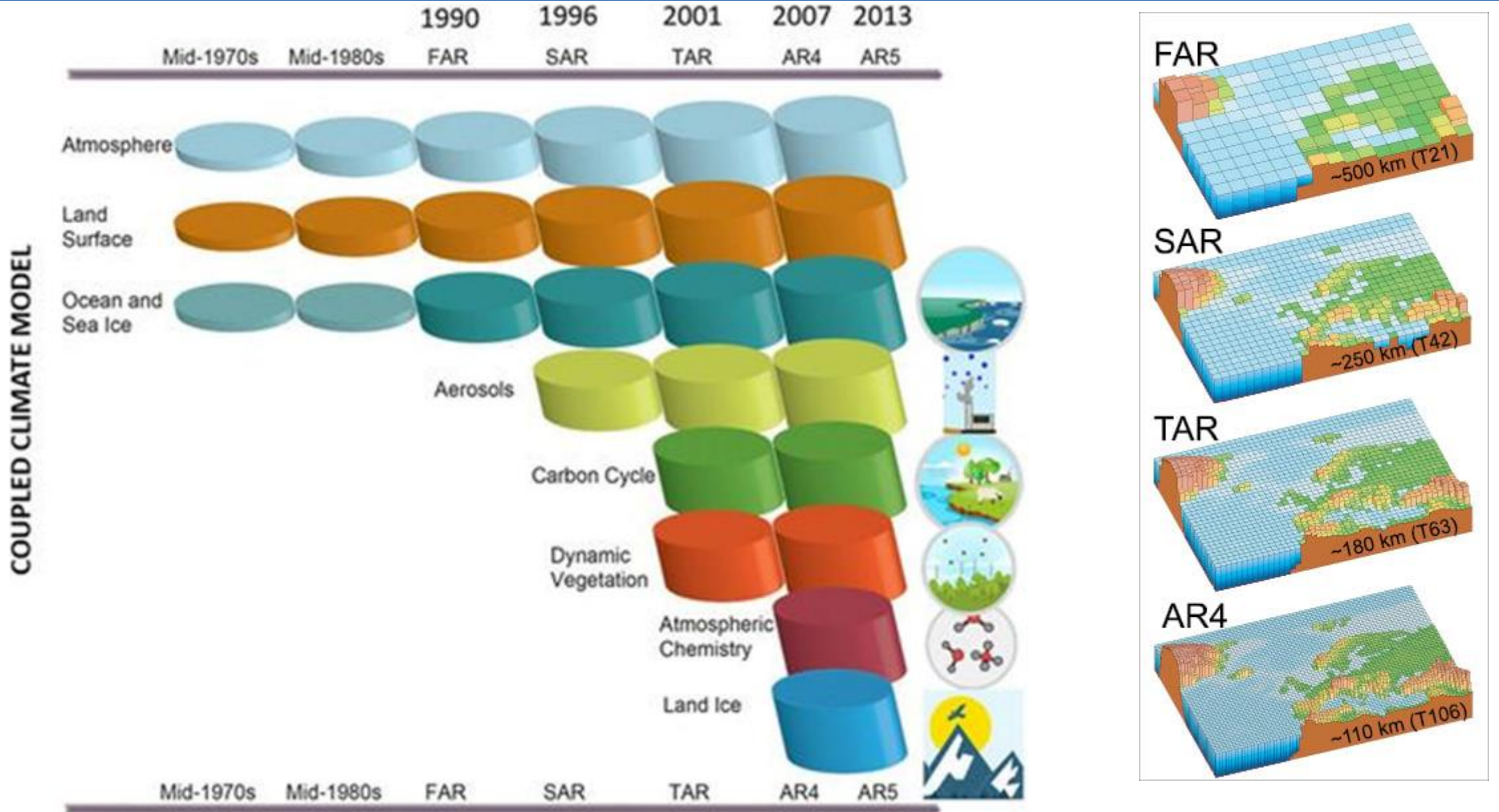
Contribution aux EGES hors CO₂ (sélection)



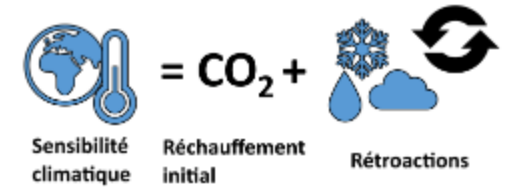
Un polluant atmosphérique contribuant aux aérosols



Les modèles de climat et leur évolution en termes de composantes représentées et de résolution spatiale

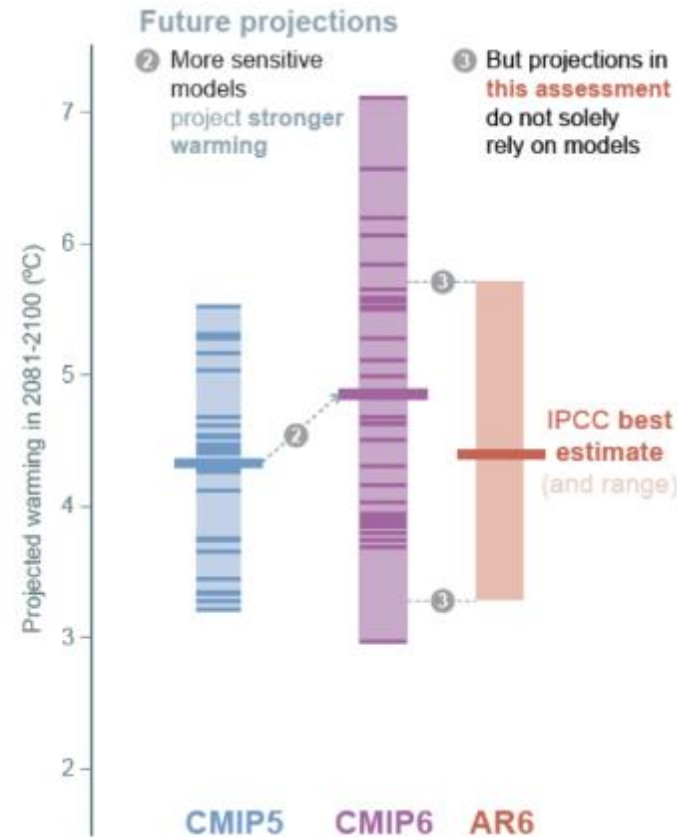
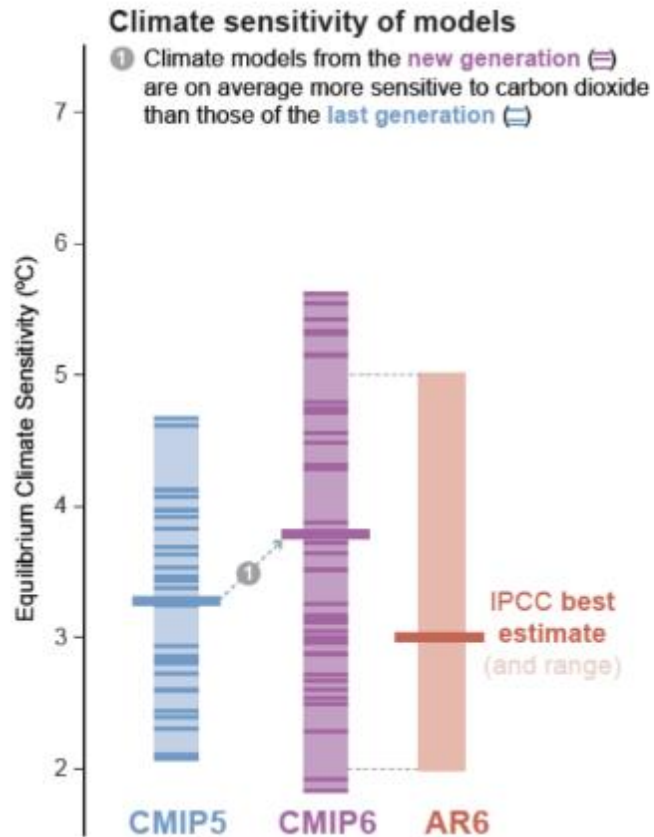


Sensibilité climatique à l'équilibre: réchauffement atteint lorsque le climat est à l'équilibre avec une concentration en CO2 double de la concentration préindustrielle



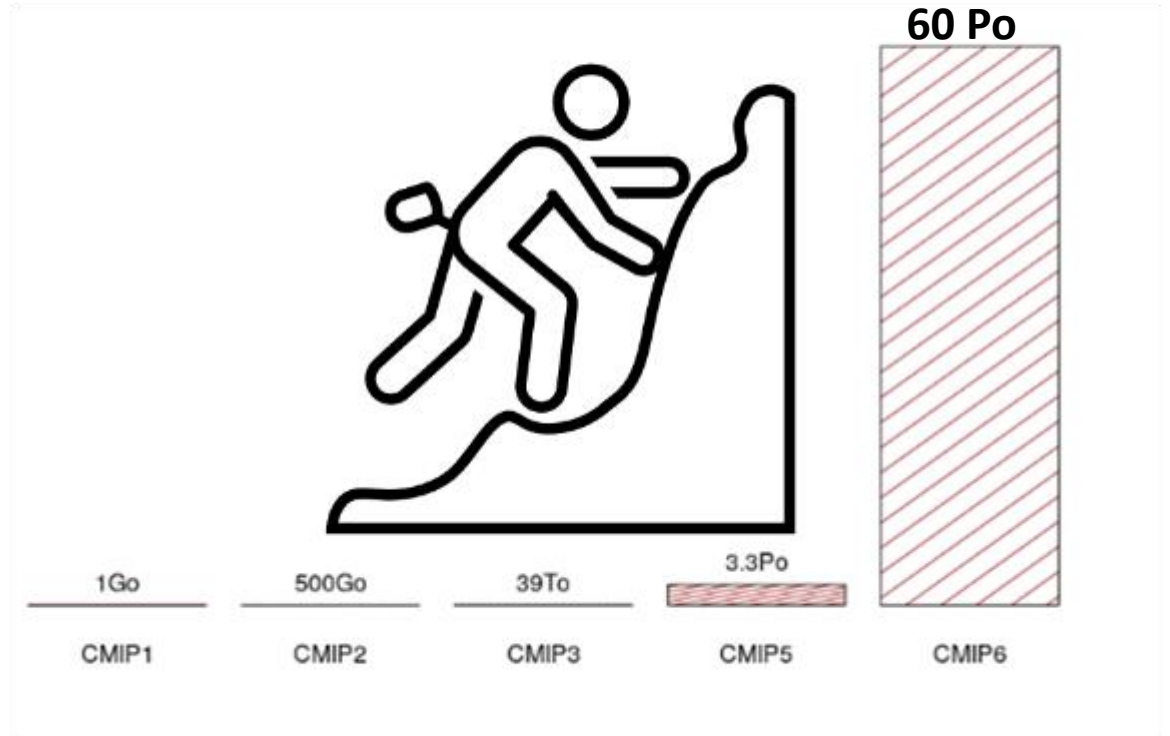
Les modèles de CMIP6 sont globalement plus sensibles de ceux de CMIP5

Certains présentent une sensibilité supérieure à la borne supérieure de l'estimation de la sensibilité naturelle du climat

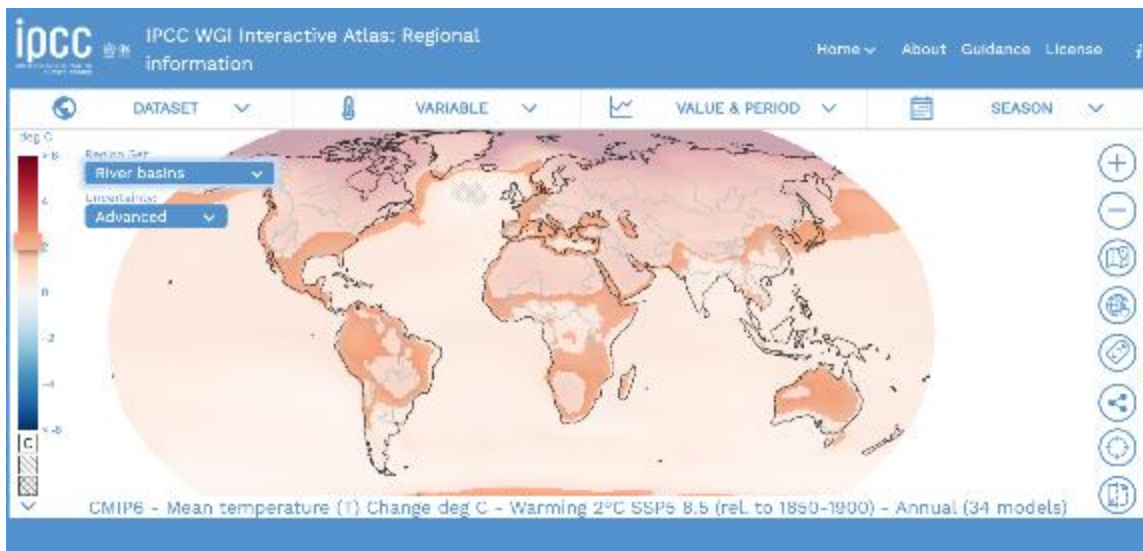


Les projections CMIP6 projettent un réchauffement global en fin de siècle avec le scénario SSP5-8.5 supérieur à celles de CMIP5 avec le RCP8.5

- > - Earth System Grid Federation au Lawrence Livermore National Laboratory (Californie)
- > - Nœuds miroirs à travers le monde dont l'IPSL (Institut Pierre-Simon Laplace)



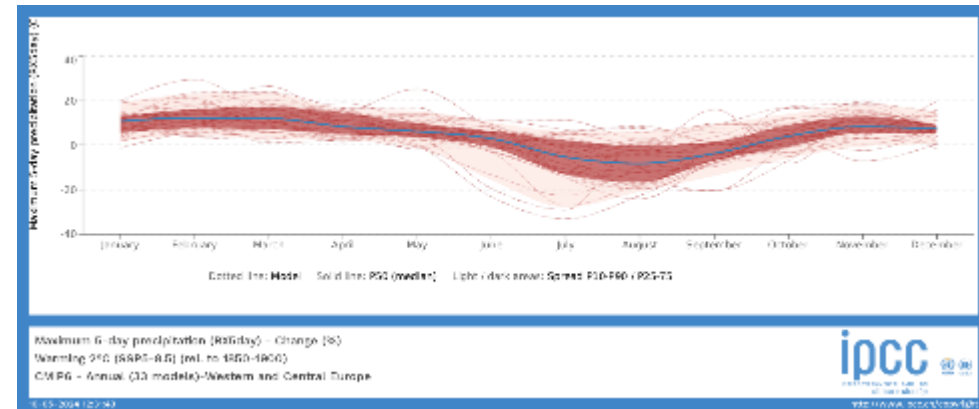
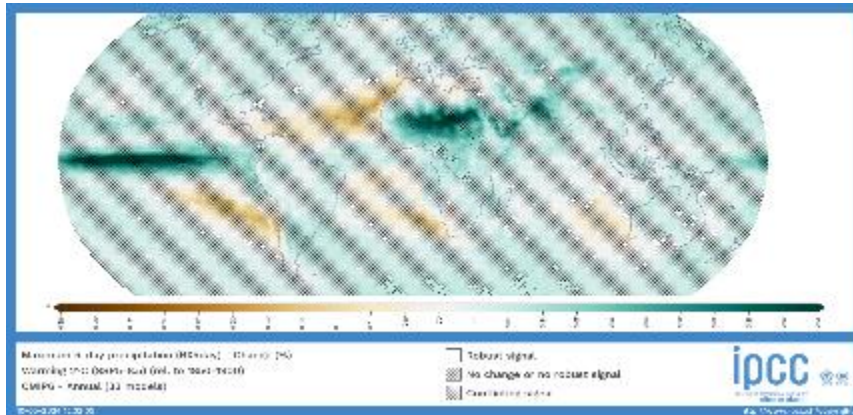
Atlas interactif du GIEC



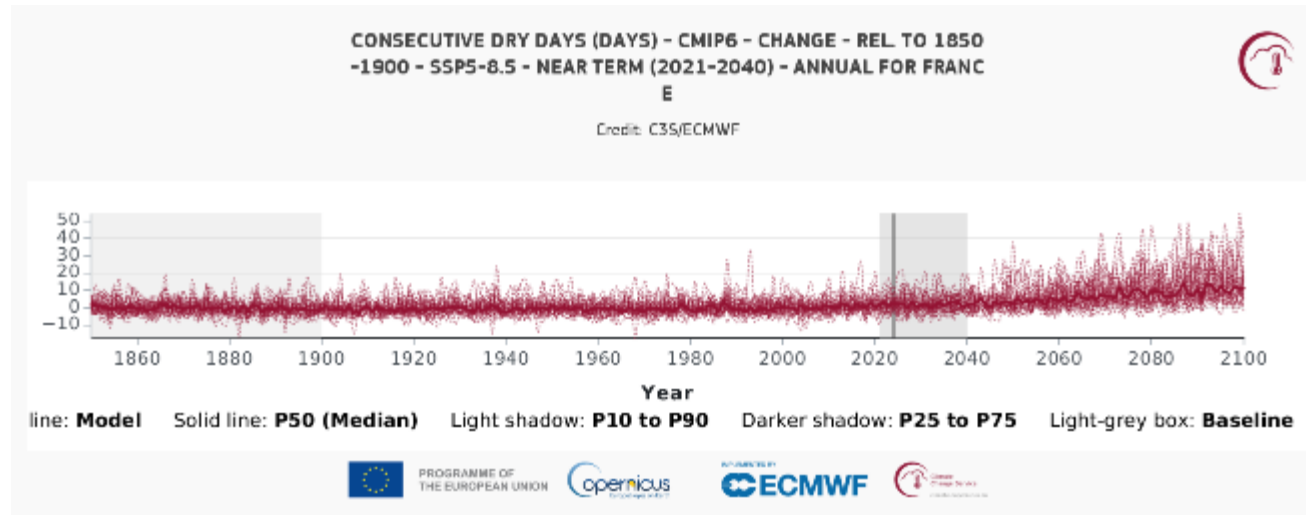
Service climatique Européen

Service climatique Français

- Atlas interactif du GIEC: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>
 - Des cartes et des graphiques pour des variables (température, précipitations, vent), des indicateurs (nombre de jours de gel, avec $T > 35^{\circ}\text{C}$, ...) pour de larges zones géographiques



- Atlas interactif C3S: <https://atlas.climate.copernicus.eu/atlas>
 - Similaire, mais plus détaillé

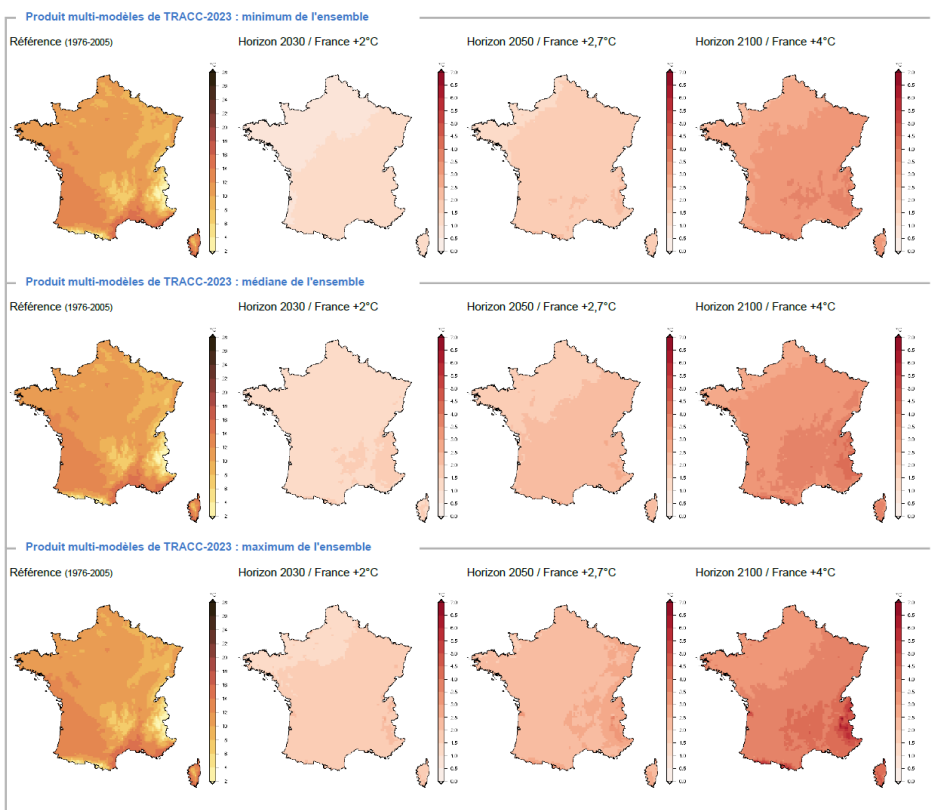


- 3 espaces DRIAS

- Accompagnement: informations sur le climat et son évolution
- Découverte: la possibilité d'obtenir des cartes d'évolutions pour différents indicateurs
- Données et produits: moyennant un compte, récupérer des données de projection climatique corrigées



Température moyenne annuelle : valeur de référence et écart à cette valeur par horizon [°C]
Moyenne sur la période autour des horizons



Climat HD: déclinaison par région

PARAMÈTRE

Moyenne ▾

Température moyenne estivale : écart à la référence 1961-1990



Paris-Montsouris



Velizy-Villacoublay

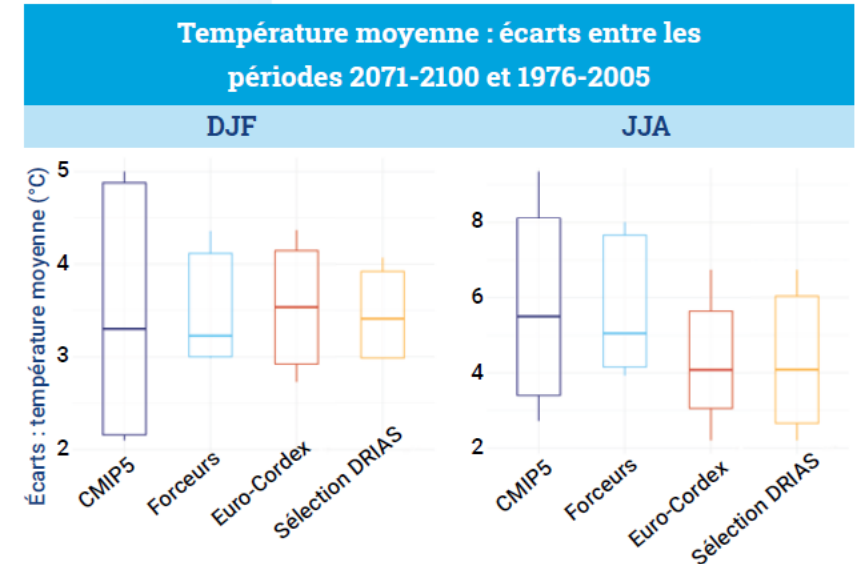


Orly



Melun

- **Fourniture des principaux services globaux**
 - Différents exercices internationaux, dont CMIP6
 - Les principales variables, mais pas toutes
 - Des indicateurs prédéfinis, des résultats grande échelle
- **Service national DRIAS**
 - Des résultats basés sur CMIP5 (EURO-CORDEX)
 - Un choix qui a des conséquences en termes de futurs possibles
- **Besoins EDF**
 - Études d'impact au niveau de nos installations, partout dans le monde
 - Préparer des données d'entrée pour nos modèles d'impact: hydrologie, source froide des centrales, ...
 - Maîtriser
 - Le choix des projections, notamment utiliser les plus récentes
 - la chaîne de correction des biais des modèles par rapport à nos données de référence
 - Estimer des extrêmes plus rares que ce que fournissent les indicateurs standard, et locaux

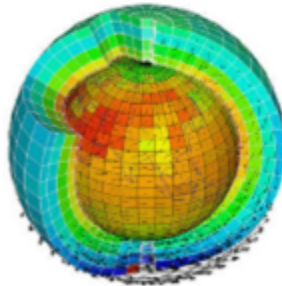
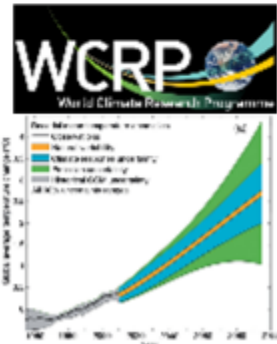


Interface entre le **monde académique**, les services climatiques nationaux et internationaux (DRIAS, Copernicus) et les **métiers EDF**

LE SERVICE CLIMATIQUE D'EDF REPOSE SUR 3 PILIERS

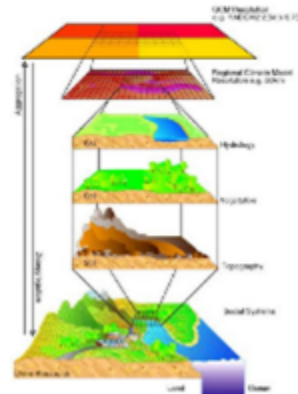
Données

- Observations
- Données climatiques passées
- Projections climatiques futures



Outils et méthodes

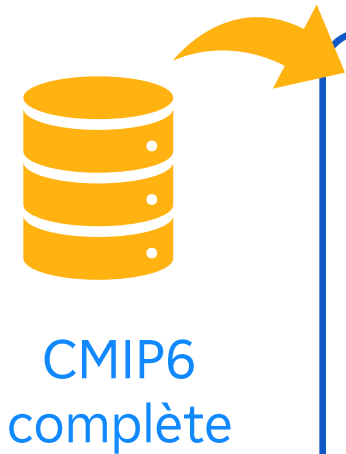
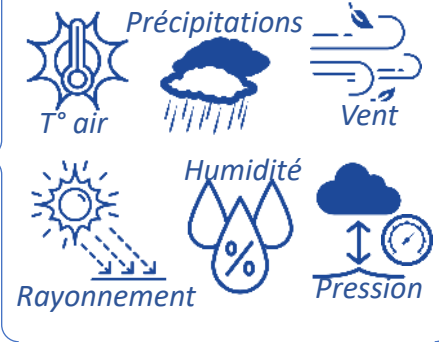
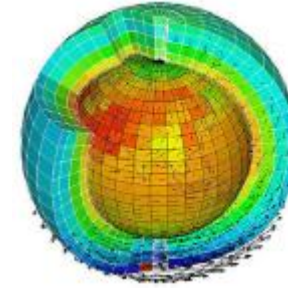
- Traduire l'information grande échelle en un résultat local et des études d'impacts



Expertise

- Contributions académiques
- Connaissances des infrastructures EDF
- Usage pertinent des données climatiques
- CERFACS, Météo-France, IPSL, BRGM, CEREMA, INRAE, IFREMER, ...



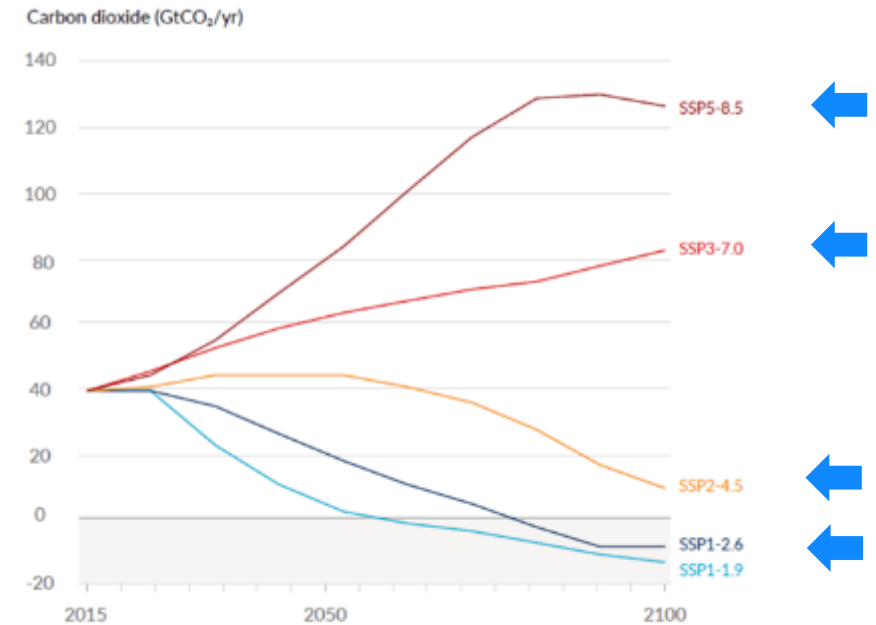


Critères de sélection des modèles

- Echantillon **représentatif** de l'ensemble des projections CMIP6
- Modèles (à peu près) **indépendants**
- Bonne **performance sur la France** pour la période historique (moyenne, tendance, variabilité inter-annuelle...)
- **Sensibilité climatique** raisonnable + 1 ou 2 modèles plus sensibles (« scénarios à faible probabilité et impact élevé »)

Travaux en collaboration avec le CERFACS présentés à l'EGU, Vienne, avril 2023

Sélection EDF/CERFACS : 19 modèles, 4 scénarios



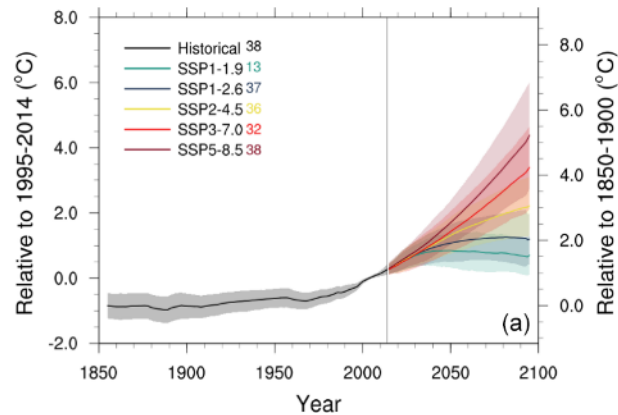


Evaluer

Caractérisation des aléas de l'échelle globale (WCRP/GIEC) à l'échelle locale (territoires, sites)

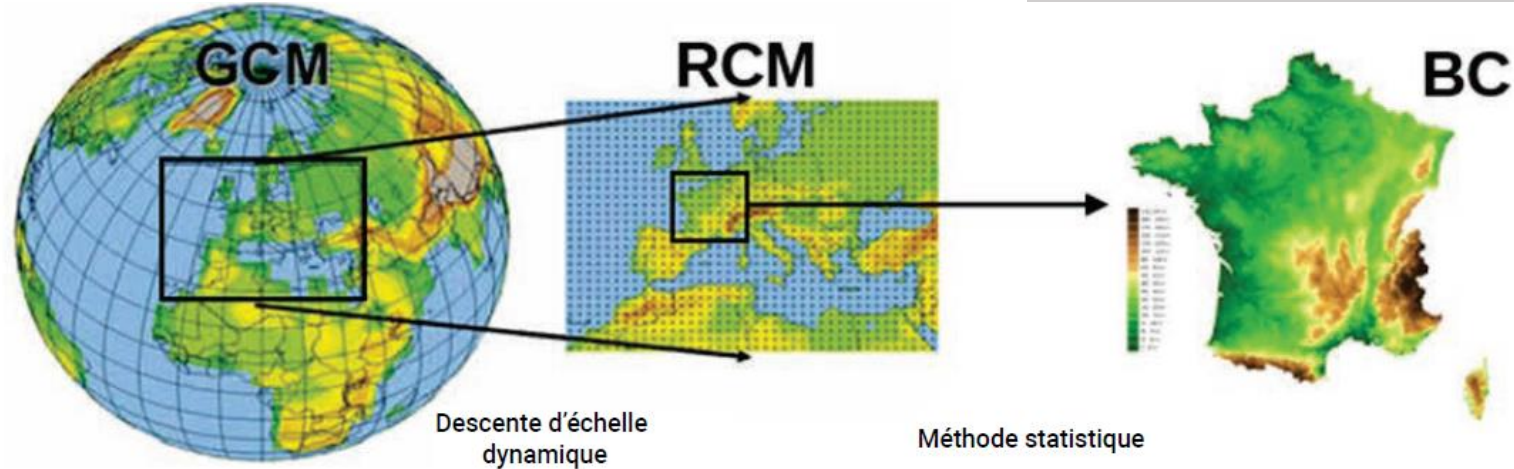
Scénarios de changement climatique SSP / RCP

TAS, global



Modèles climatiques du WCRP(GIEC)/ modèles régionaux (Eurocordex/Drias)

Descentes d'échelle dynamiques et statistiques
Corrections de biais



Expertises Service Climatique EDF / R&D / DTG validées par la communauté académique internationale

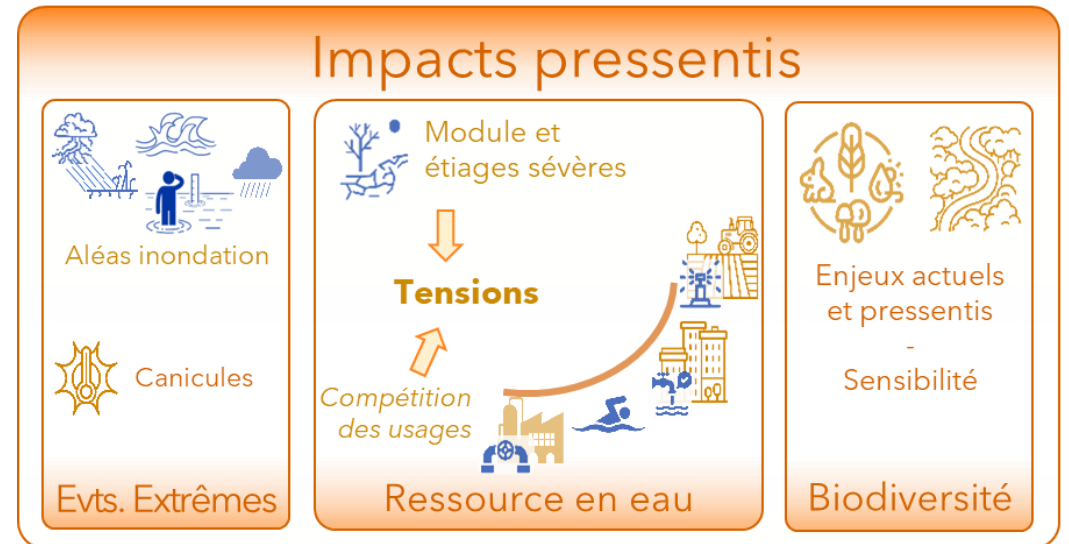
Modèles d'impacts EDF reconnus

- Canicule, Hydrologie, Usages, Qualité d'eau, Productible, etc.
- Estimation des niveaux d'aléas à différents horizons

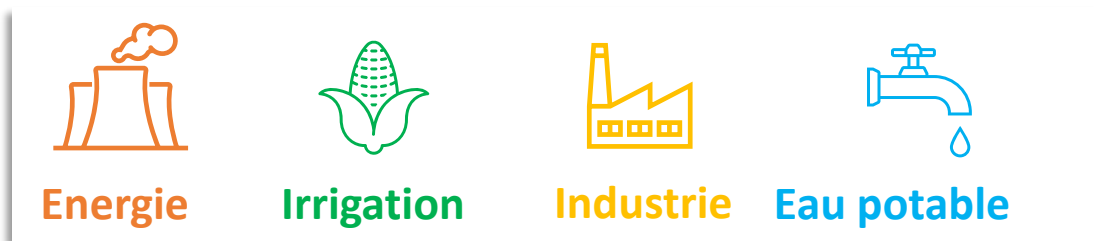
- **Programme commun pour l'adaptation au changement climatique des centrales de production**

- Nucléaire (ADAPT, DDF)
- Hydraulique (projet Arche)
- Thermique

- Etudes des climats futurs sur chaque site de production
- Biodiversité
- Allocation de la ressource en eau
- Sobriété en eau
- Réutilisation de l'eau
- Compensation carbone
- Prévisions mensuelles, saisonnières

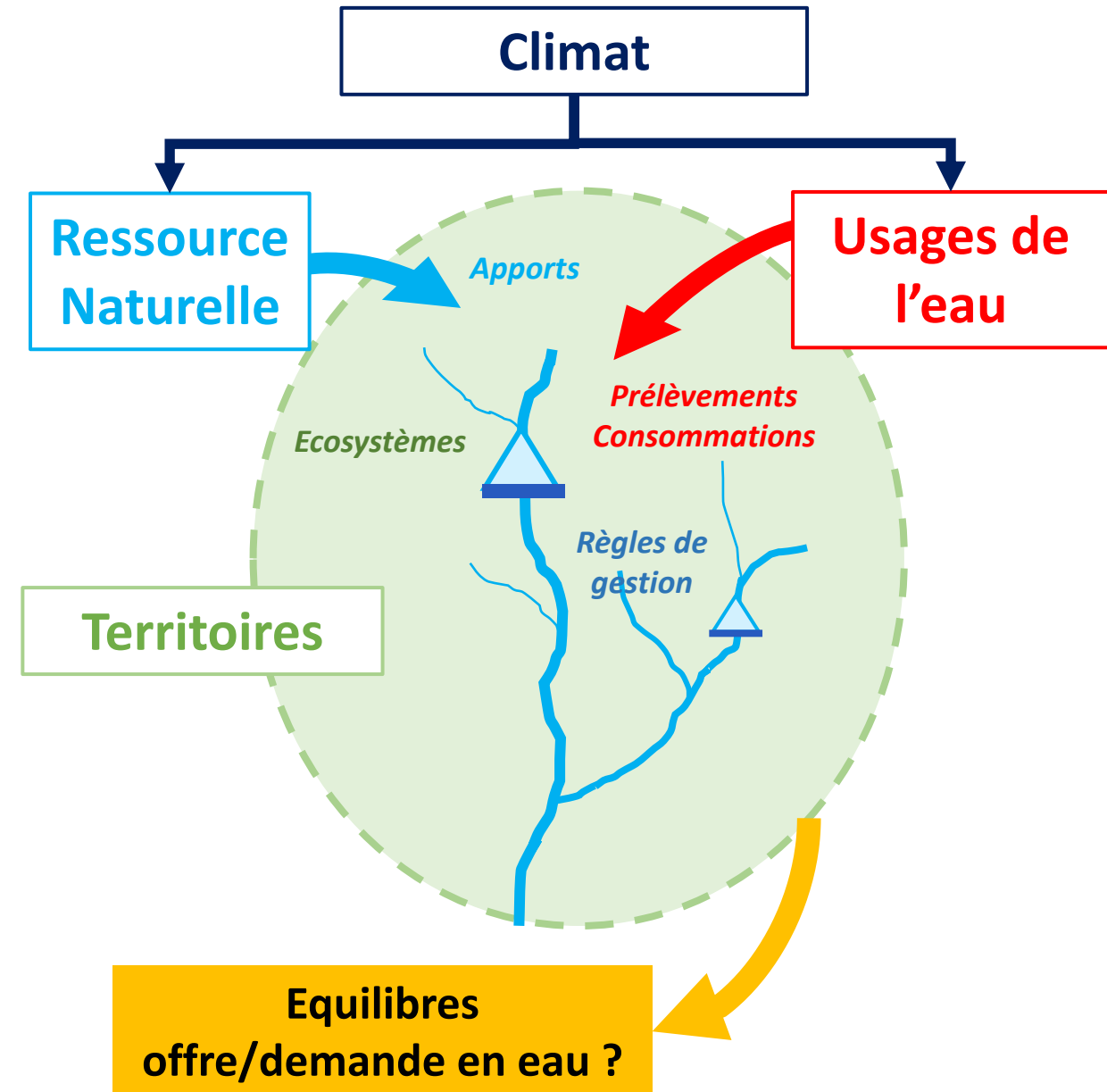


- Représentation de la ressource naturelle et des principaux usages de l'eau
- Utilisation de trajectoires climatiques à des horizons moyen terme (2035-2065) et long terme (2070-2100)



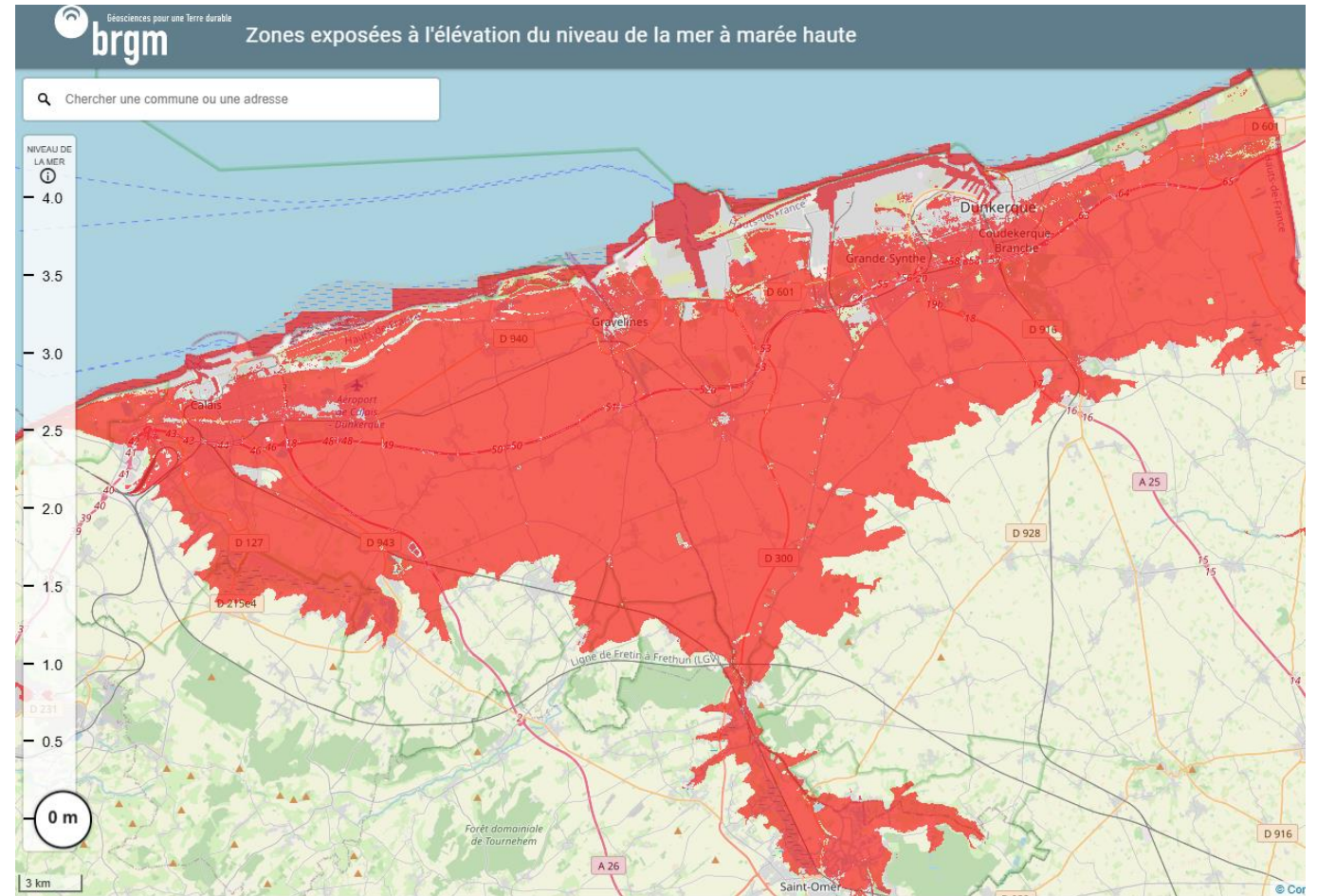
Un jumeau numérique ?

- Un outil et une base de connaissances pour caractériser les **impacts du changement climatique** sur les **équilibres offre/demande en eau**.



Réalisation d'une thèse EDF-BRGM :

- La comparaison du niveau de la mer et de l'altitude des sols ne suffit pas
- L'érosion des côtes est un phénomène complexe et dynamique qui doit être étudié localement
- La thèse débutée le 1^{er} novembre 2024 porte sur la résilience de la côte du Dunkerquois



OBJECTIFS

- 1) Caractériser quantitativement les réponses de la biodiversité aquatique à une modification de la température de l'eau
- 2) Evaluer la contribution respective du changement global et des rejets thermiques des CNPE dans les évolutions biotiques observées dans les grands fleuves français
- 3) Fournir de nouveaux éléments scientifiques qui permettront, en tant que de besoin, d'alimenter de manière objective les réflexions en cas de situation climatique exceptionnelle



Loire



Rhône



Seine

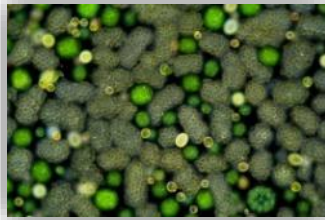


Meuse



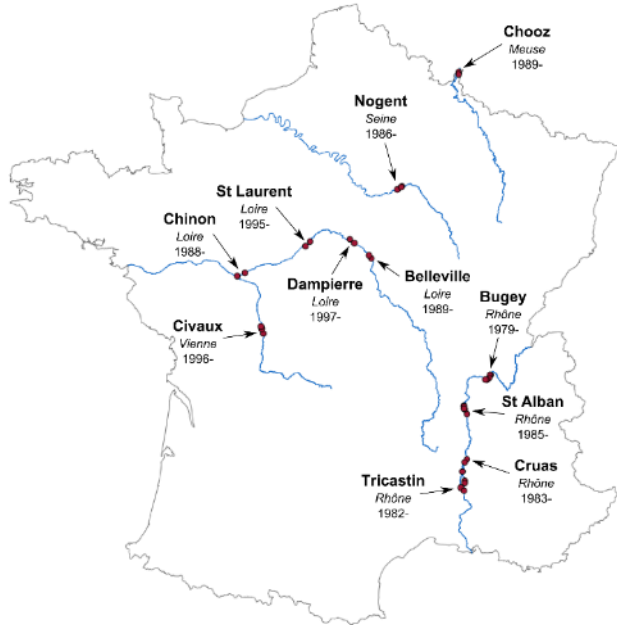
Garonne

Comment ont évolué les écosystèmes aquatiques des grands fleuves français au cours des quatre dernières décennies ?



➔ Les changements globaux sont les déterminants principaux des évolutions biologiques constatées

Statistiquement pas de différence entre les tendances à l'amont et à l'aval des CNPE pour les communautés du phytoplancton, d'invertébrés benthiques et de poissons



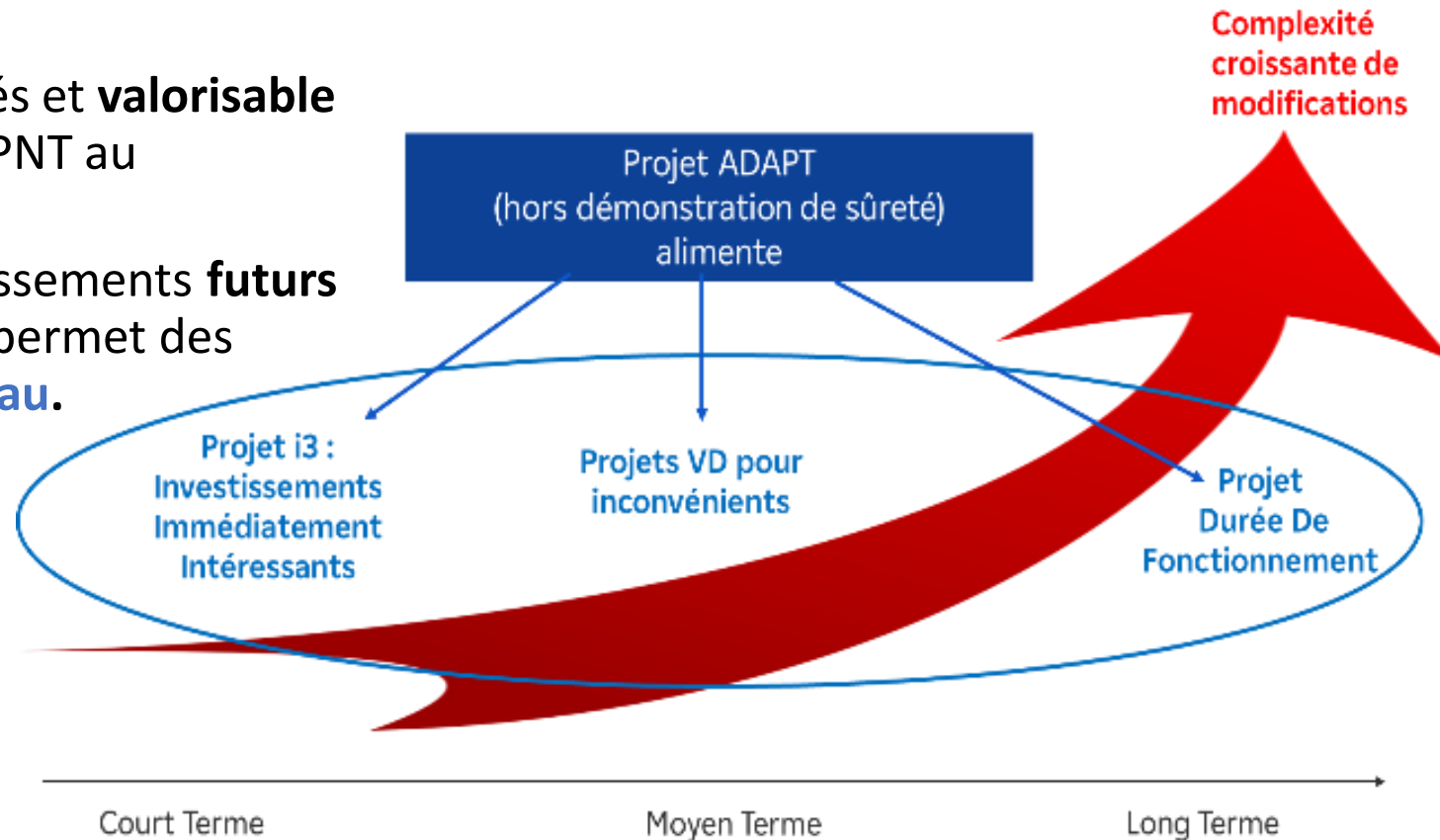
Références

- Larroudé *et al.* (2013) *Glob. Change Biol.*
- Floury *et al.* (2013) *Glob. Change Biol.*
- Maire *et al.* (2019) *Freshwater Biology*

Mobiliser & Agir

Investissements Immédiatement Intéressants

- Groupe de travail lancé suite aux canicules de 2022 qui vise à identifier et mettre en œuvre, des études de faisabilité, des modifications de process ou des modifications matérielles sur les sites de productions ayant **un gain de production** ou de **sobriété en eau**, en particulier en cas de canicules et étiages.
- Démarche iCube associée au GK et la DPN avec une forte mobilisation de GK, DPN, UNIE, CNEPE, DIPDE, DTG, DTEAM aboutissant :
 1. à l'**identification** des actions déjà engagés et **valorisable au titre de l'adaptation d'EDF** et de la DPNT au changement climatique
 2. À une **priorisation** du **TOP 10** des investissements **futurs** dont la mise en œuvre ou l'accélération permet des **gains de production** ou de **sobriété en eau**.





Démarche quantitative

Diagnostiquer : mieux connaître notre empreinte eau

Réduire nos prélèvements et consommations

Développer des technologies en rupture

Démarche qualitative

Co-recycler l'eau et certaines substances chimiques

Optimiser les rejets – Recycler, entreposer

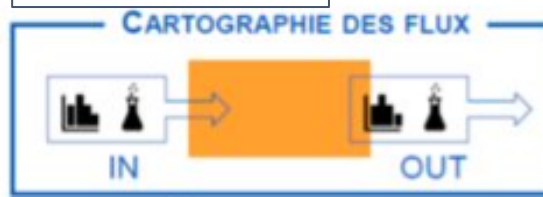
Améliorer la surveillance pour réduire les incertitudes

Démarche quantitative

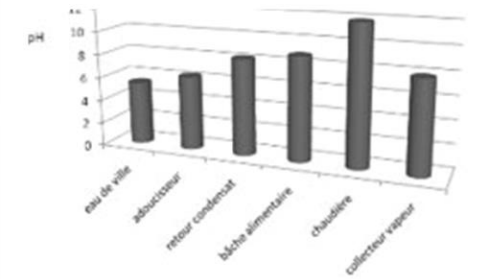
Diagnostiquer

- Cartographie des flux d'eau sur CNPE
- Suivi adapté pour connaître les flux et détecter les anomalies

Cartographie GOL



Etudes Technico-économiques



Réduire

- Limiter ou collecter les eaux perdues
- Réutiliser les eaux de process

Eradication des fuites



Process de Déminéralisation

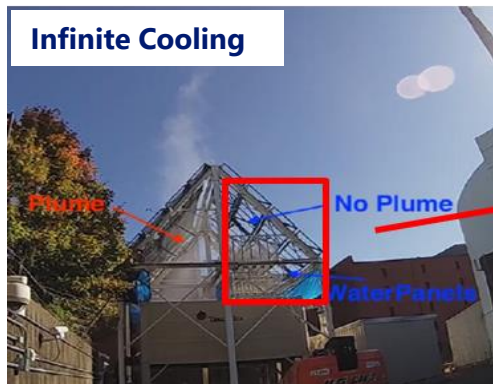


Développer

- REUSE recyclage des effluents secondaires
- Infinite Cooling : récupération de l'eau des panaches

Pilote CHEMDOC

Infinite Cooling



Démarche qualitative

Co-recycler

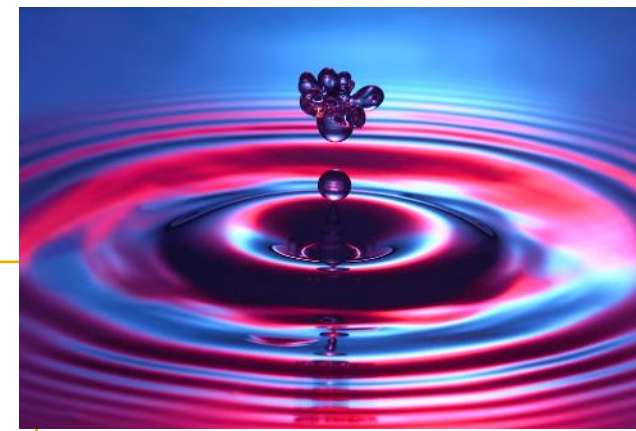
- Limiter les eaux perdues ou réutiliser les eaux de process c'est limiter les usages de produits chimiques et donc les rejets

Optimiser la gestion des effluents radiocatifs

- Améliorer le recyclage
- Augmenter les capacités d'entreposage

Améliorer la surveillance

- Améliorer la métrologie



Des ripisylves pour limiter l'échauffement, les espèces exotiques envahissantes et protéger la biodiversité

- Golfech : test sur les affluents secondaires de la Garonne pour limiter l'échauffement thermique
- Flamanville : test sur le fleuve côtier pour limiter la progression de l'élodée du Canada
- Enjeux biodiversité : création de zones refuge locales pour gain de biodiversité & stabilisation des berges



Enjeu : Être attentif aux femmes et aux hommes face au dérèglement climatique : Qualité de vie au Travail et Santé, Adaptation des bâtiments et verdissement

Approche en 4 axes :

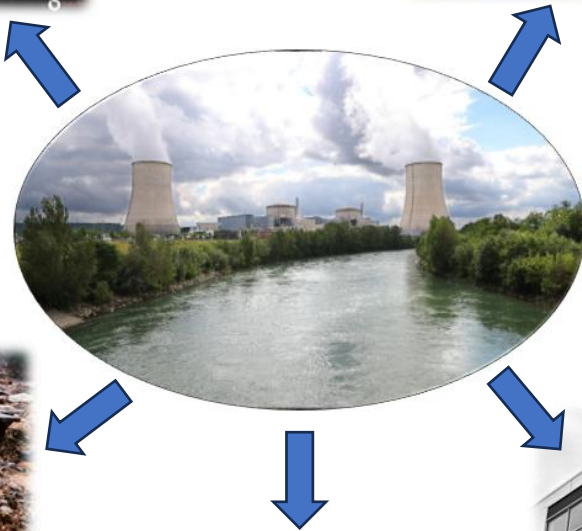
- Formation et sensibilisation
- Adaptation de l'individu (Impact physiologique- Santé - acclimatation)
- Adaptation des tenues de travail
- Adaptation de l'environnement de travail (Infrastructures-Bâtiments)

Adaptation des bâtiments industriels et tertiaires sur site

- Suivi des actions mises en place pour améliorer la sécurité des personnes en cas de canicules
- Démarche Préservation des groupes froids
- Thermie des bâtiments : amélioration confort d'été (travaux en cours avec la R&D)



Adapter l'éco système territorial nécessaire à la performance



Travailler sur l'adaptation des territoires d'ancrage est l'occasion de repenser notre relation avec eux

Le travail s'inscrit dans une posture historique d'EDF dans la consolidation de la connaissance scientifique sur les territoires :

La construction des sites nucléaires a été l'occasion de connaître les éco systèmes, de les suivre dans le temps, mais aussi de développer la connaissance de l'histoire et de la géologie des sites.

Les travaux menés pour l'adaptation au changement climatique sont l'occasion de faire bénéficier les territoires d'outils de dimension industrielle pour le développement de la connaissance sur les conditions climatiques futures locales et de leurs implications.

Travailler sur l'adaptation au changement climatique est l'occasion de penser la relation au territoire :

Renforcement d'une vision long terme de la relation au territoire

Mise en place d'une relation plus horizontale avec le territoire plus ouverte et moins centrée sur nos propres intérêts.

Le travail vise donc à poser :

- Un diagnostic local sur la conscience du changement climatique et la capacité à agir
- Les principaux enjeux associés aux territoires d'ancrage étudiés dans le cadre du programme Adapt au regard des programmes d'actions nationaux existant à EDF.

L'adaptation au changement climatique comprend largement des dimensions non techniques qui relèvent entre autres de la démocratie locale

Les contraintes issues du changement climatiques vont conduire à de vraies souffrances individuelles :

Le changement climatique va conduire à des situations de crise, mais aussi des situations difficilement tenables sur le moyen terme pour des individus (risque de submersion, inondations à répétition, perte de rendement agricole etc.) Les mutations forcées sont sources de stress.

Certains modes de vie ne seront pas tenables dans un monde sous stress climatique :

Habitat loin de son lieu de travail nécessitant des transports importants et réguliers, navetteurs en avion, mode de vie lié au ski etc.

La mise à niveau des équipements collectifs va questionner les arbitrages en place entre le prix à payer par la collectivité, et le périmètre des bénéficiaires :

Ici raccordement au réseau d'eau potable, mais on peut aussi penser au maintien en service d'une route à fort gabarit pour un seul utilisateur, etc.

Le changement climatique va mettre sous contrainte les budgets locaux et nationaux, privés et publics, mais aussi les dispositifs de gouvernance

Une pression accentuée sur un grand nombre de paramètres de la vie locale : Adopter la bonne posture pour s'adapter



La pression du changement climatique va s'appliquer sur un grand nombre d'éléments de la vie locale :

Alors qu'on imagine aisément le poids du changement climatique sur l'agriculture ou l'impact des extrema météo sur les installations industrielles, les impacts seront en réalité bien plus larges (perturbation des chaînes d'approvisionnement, bouleversement des lignes maritimes, impact des mesures d'atténuation etc.)

Nous sommes confrontés à un quasi-continuum de conséquences variables :

Ce grand nombre de conséquences nous conduit à identifier les conséquences clés pour nos installations (Lot A-B du programme ADAPT) et à favoriser **globalement** un accroissement de la résilience des éco systèmes industriels et naturels nécessaires à notre activité (lot C et D).

En ce qui concerne le niveau local, il s'agit d'adopter une posture facilitant :

- Le rassemblement du maximum d'acteurs locaux autour de la question de l'adaptation au changement climatique
- La prise en charge par les acteurs les plus compétents de l'adaptation de leur propre chaîne afin de favoriser la mise en place d'actions pertinentes au bon niveau.

Merci pour votre attention !