



“ Recent changes in the climate are widespread, rapid, and intensifying, and unprecedented in thousands of years.

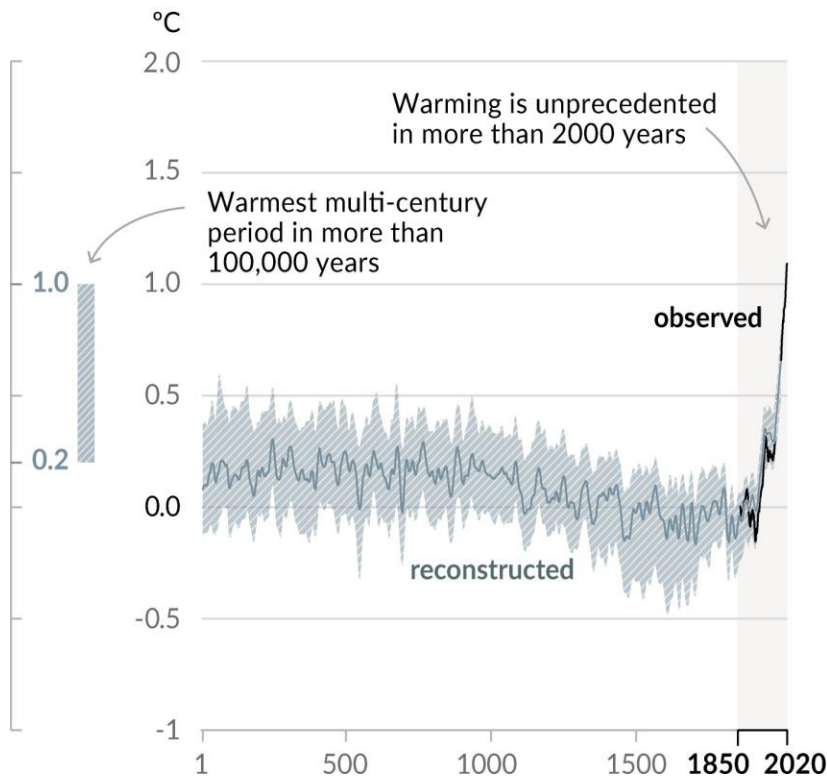
Changement climatique et agriculture

- Quoi de neuf dans le 6eme rapport du GIEC (WG1)?
 - Quelle stratégie INRAE?

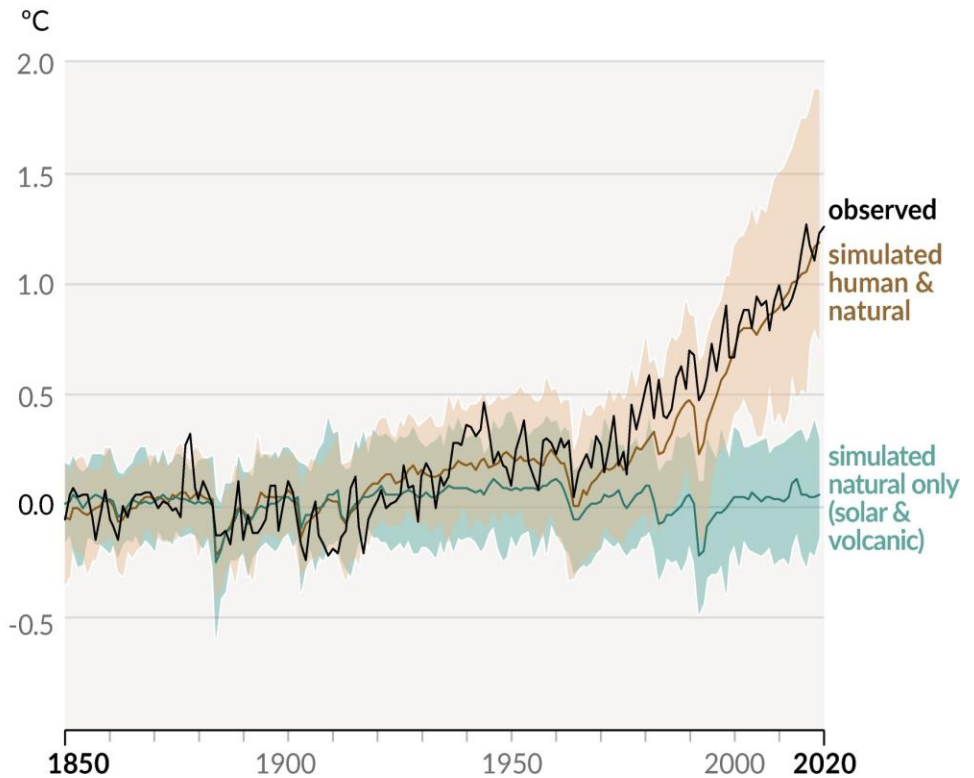
Human influence has warmed the climate at a rate that is unprecedented in at least the last 2000 years

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)



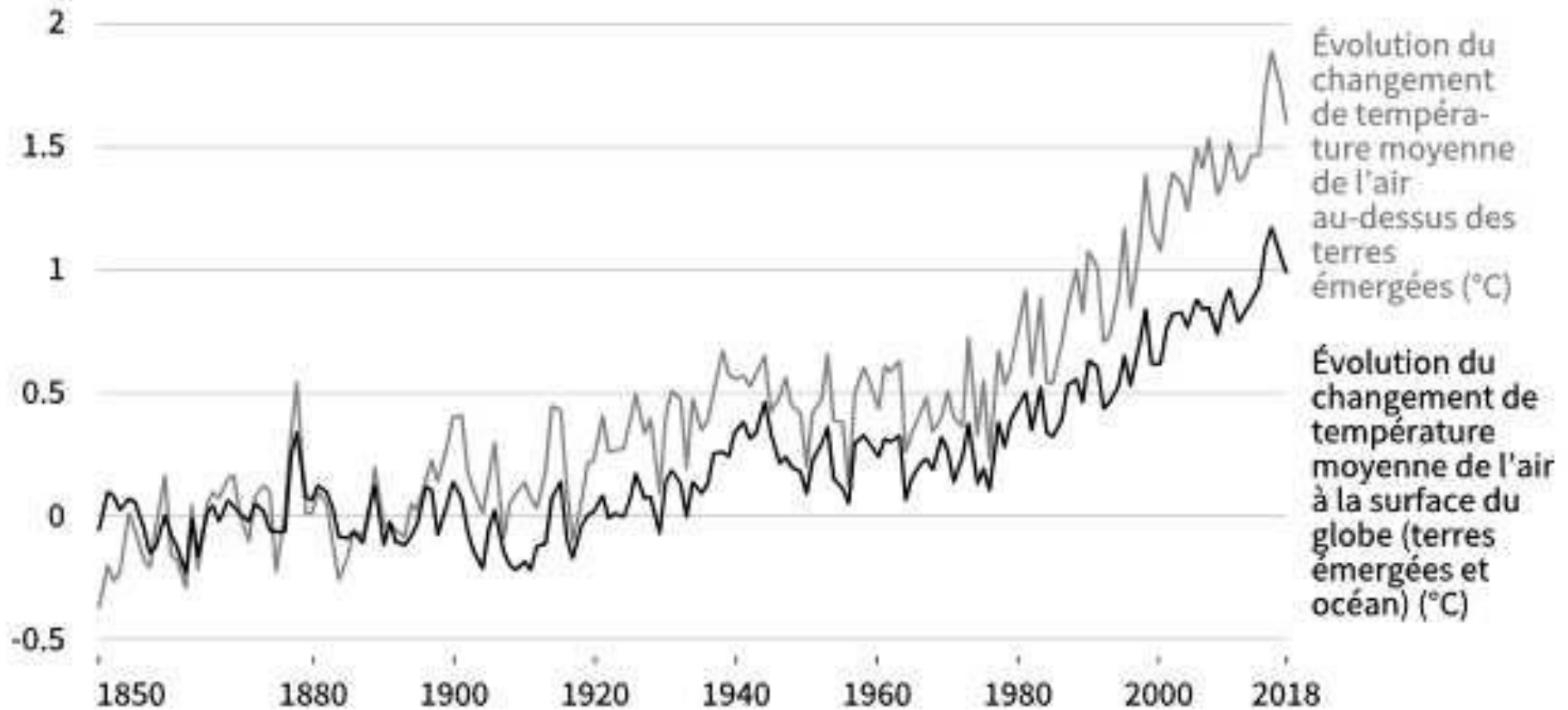
b) Change in global surface temperature (annual average) as **observed** and simulated using **human & natural** and **only natural** factors (both 1850-2020)



IPCC, 2021



ÉVOLUTION du changement de température par rapport à 1850-1900 (°C)

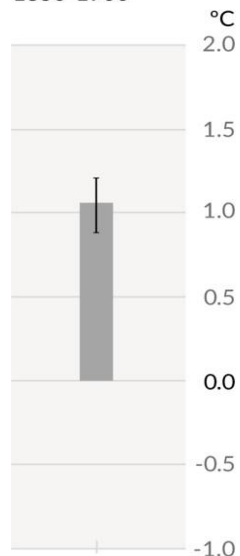


IPCC, 2018

Observed warming is driven by emissions from human activities, with greenhouse gas warming partly masked by aerosol cooling

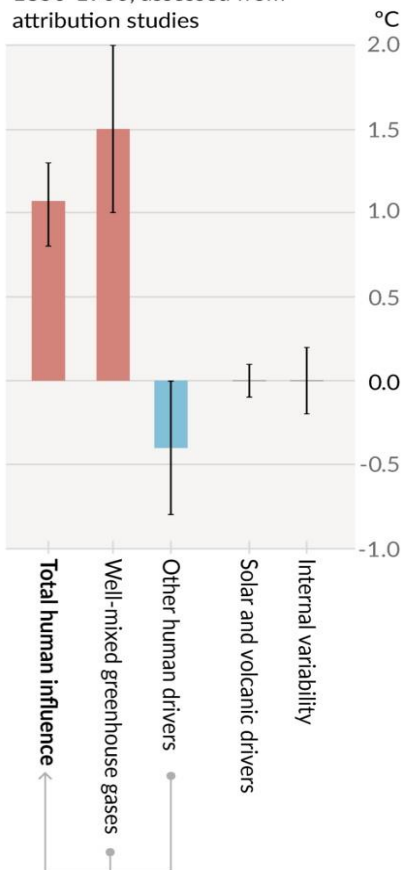
Observed warming

a) Observed warming 2010-2019 relative to 1850-1900

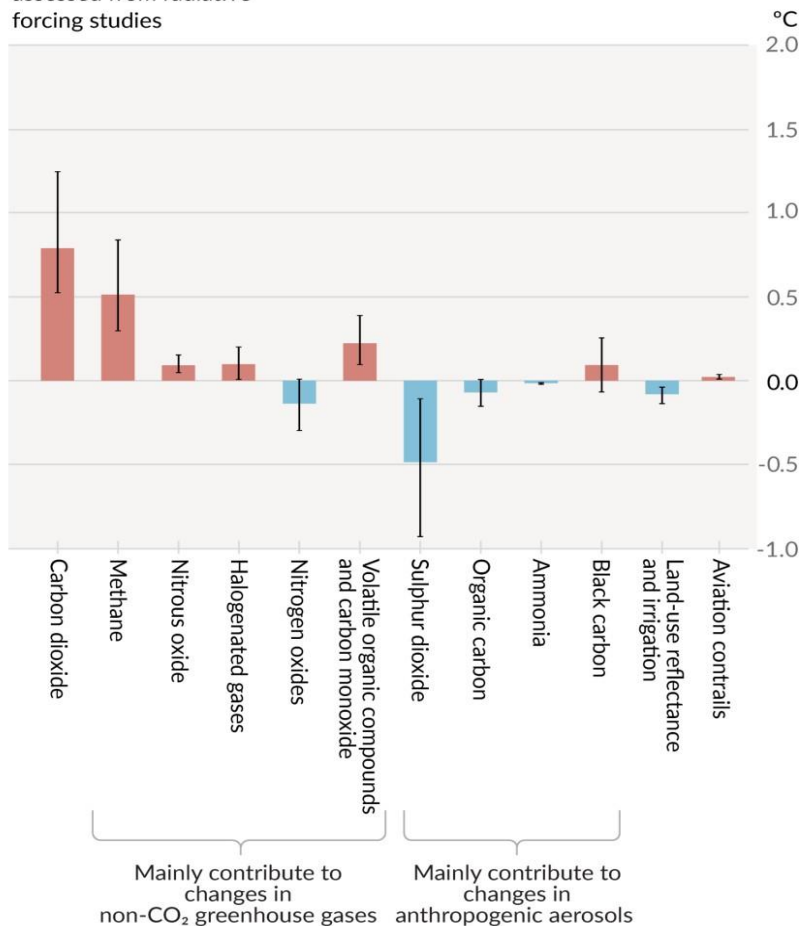


Contributions to warming based on two complementary approaches

b) Aggregated contributions to 2010-2019 warming relative to 1850-1900, assessed from attribution studies



c) Contributions to 2010-2019 warming relative to 1850-1900, assessed from radiative forcing studies



IPCC, 2021

Climate change is already affecting every inhabited region across the globe, with human influence contributing to many observed changes in weather and climate extremes

a) Synthesis of assessment of observed change in **hot extremes** and confidence in human contribution to the observed changes in the world's regions

Type of observed change in hot extremes

●●● Increase (41)

● Decrease (0)

▨ Low agreement in the type of change (2)

○ Limited data and/or literature (2)

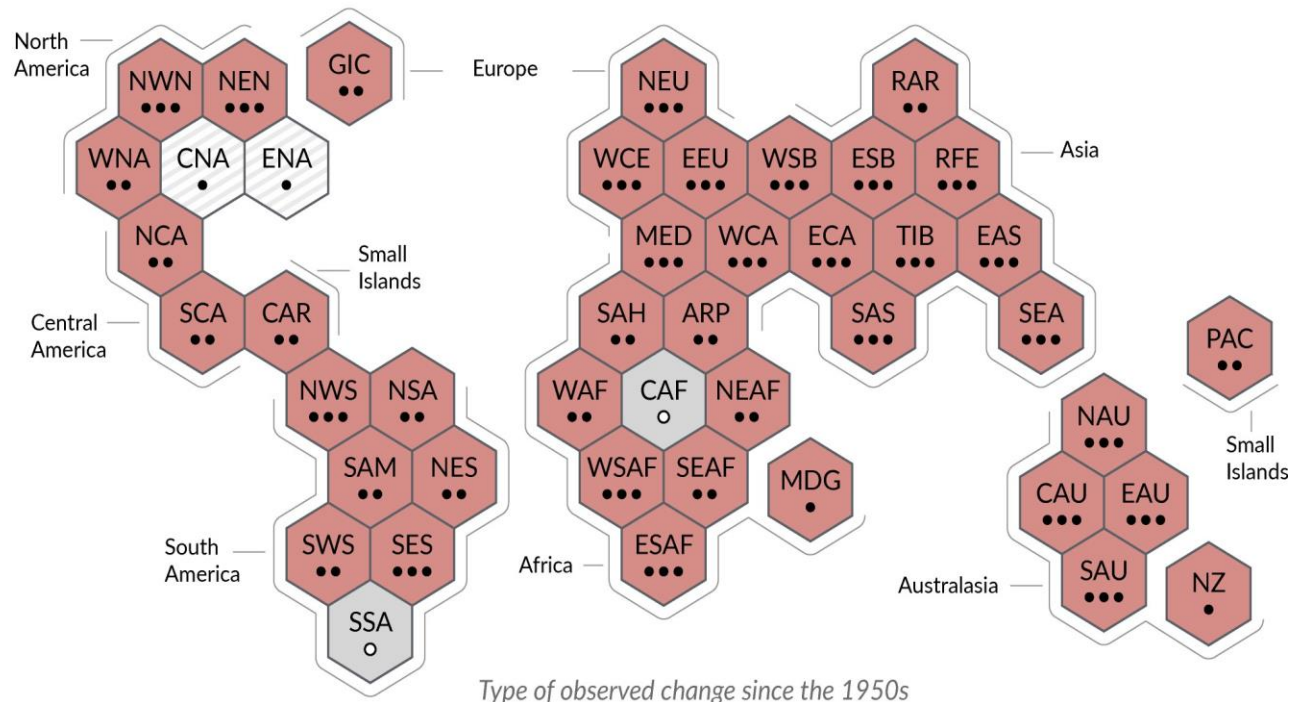
Confidence in human contribution to the observed change

●●● High

●● Medium

● Low due to limited agreement

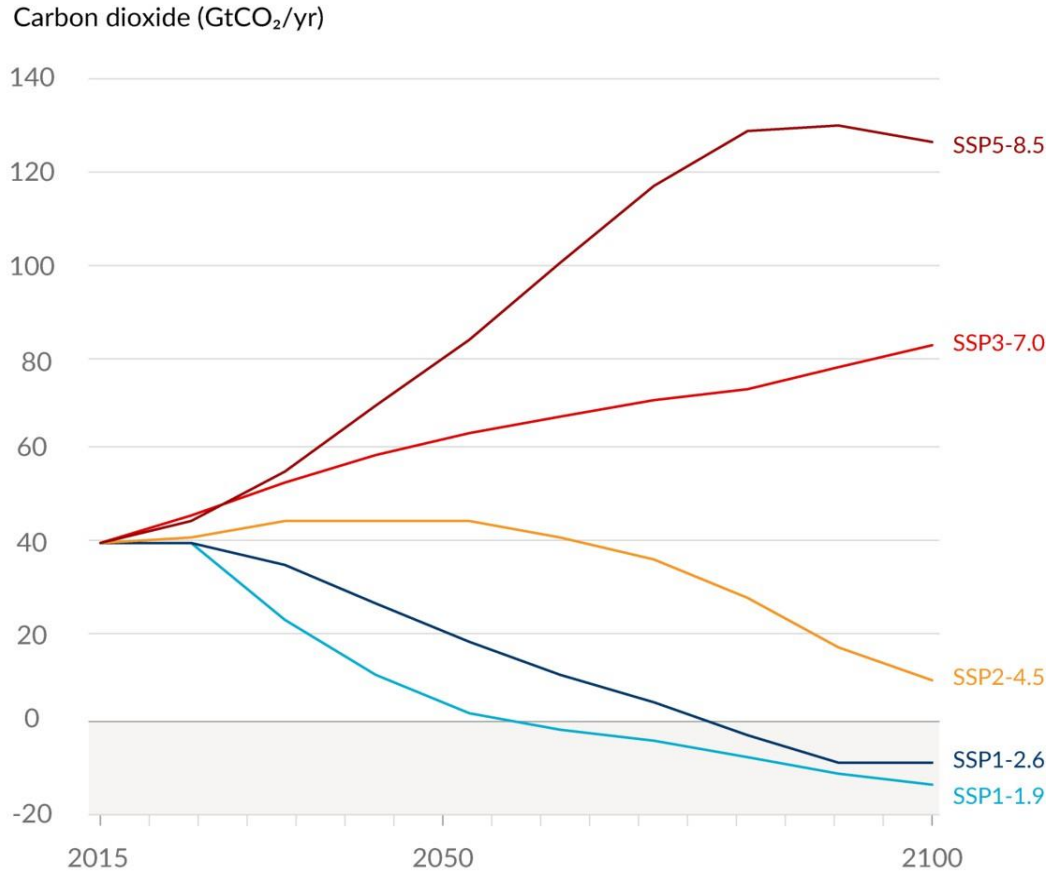
○ Low due to limited evidence



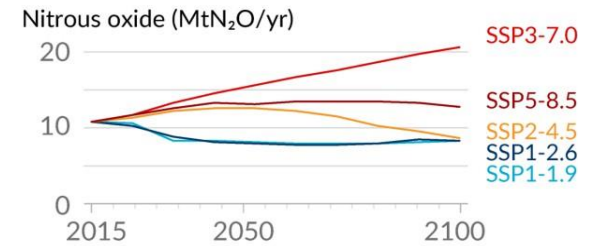
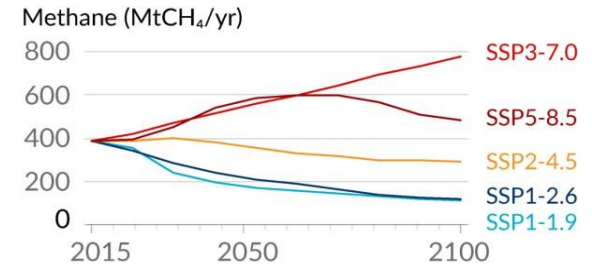
IPCC, 2021

Future emissions cause future additional warming, with total warming dominated by past and future CO₂ emissions

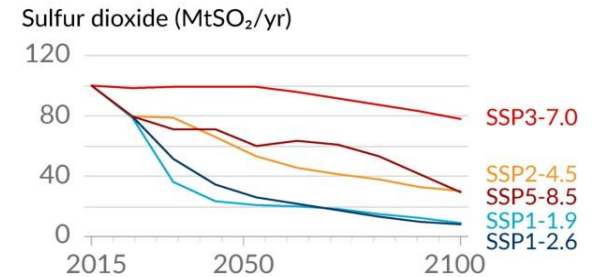
a) Future annual emissions of CO₂ (left) and of a subset of key non-CO₂ drivers (right), across five illustrative scenarios



Selected contributors to non-CO₂ GHGs



One air pollutant and contributor to aerosols

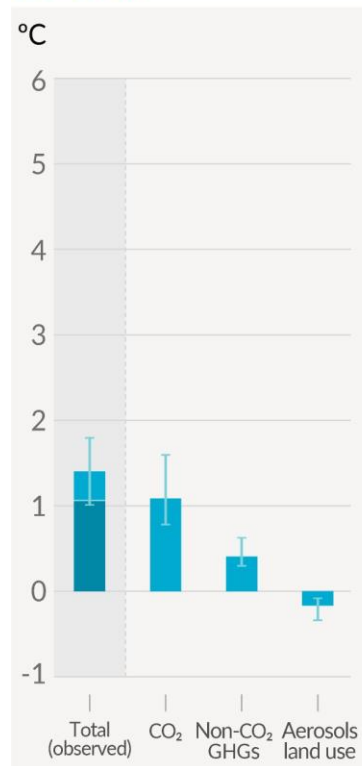


IPCC, 2021

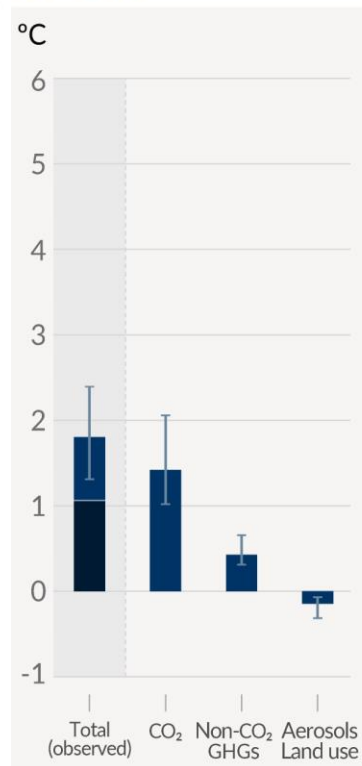
Future emissions cause future additional warming, with total warming dominated by past and future CO₂ emissions

Change in global surface temperature in 2081-2100 relative to 1850-1900 (°C)

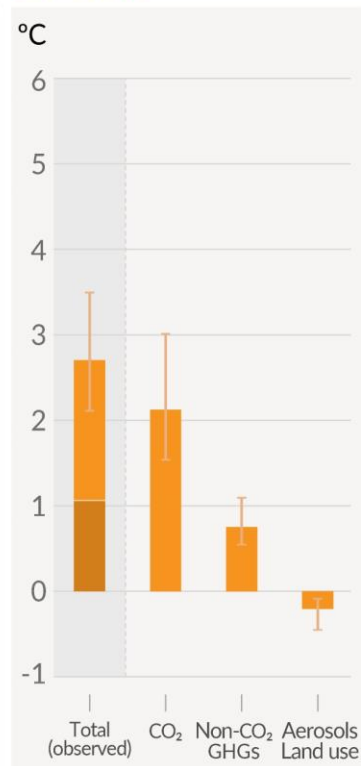
SSP1-1.9



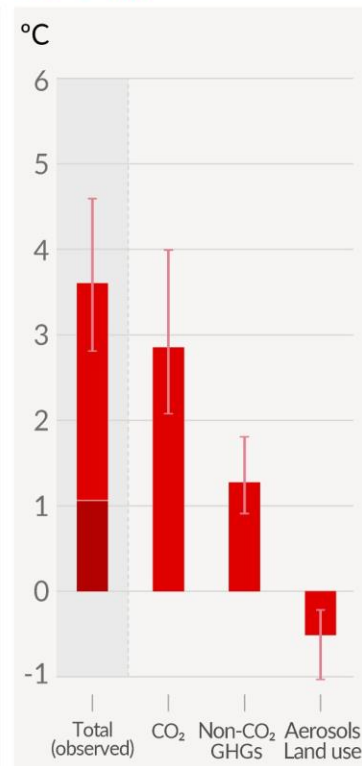
SSP1-2.6



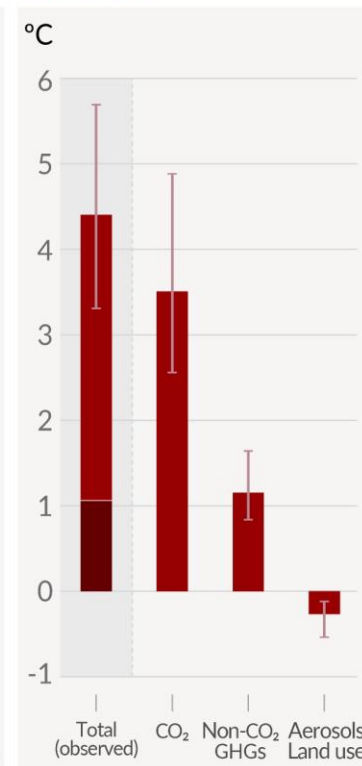
SSP2-4.5



SSP3-7.0



SSP5-8.5



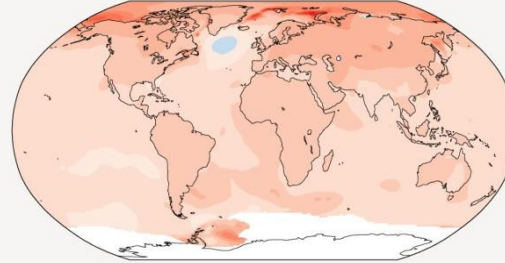
IPCC, 2021

With every increment of global warming, changes get larger in regional mean temperature, precipitation and soil moisture

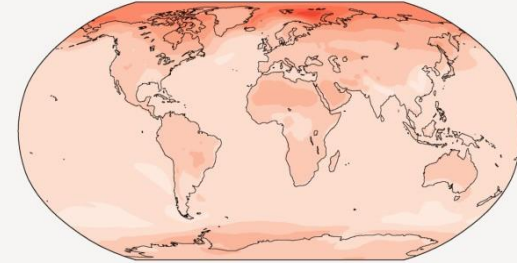
a) Annual mean temperature change (°C) at 1 °C global warming

Warming at 1 °C affects all continents and is generally larger over land than over the oceans in both observations and models. Across most regions, observed and simulated patterns are consistent.

Observed change per 1 °C global warming



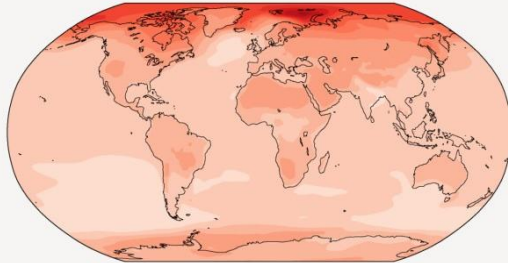
Simulated change at 1 °C global warming



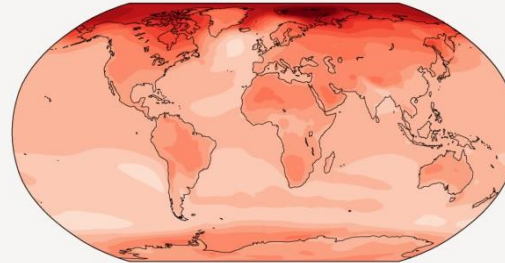
b) Annual mean temperature change (°C) relative to 1850-1900

Across warming levels, land areas warm more than oceans, and the Arctic and Antarctica warm more than the tropics.

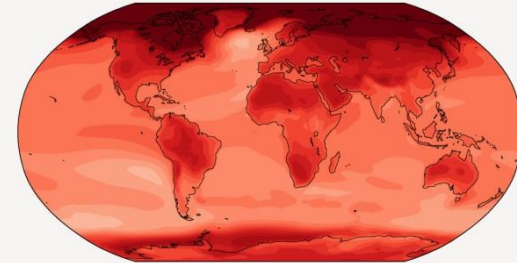
Simulated change at 1.5 °C global warming



Simulated change at 2 °C global warming



Simulated change at 4 °C global warming



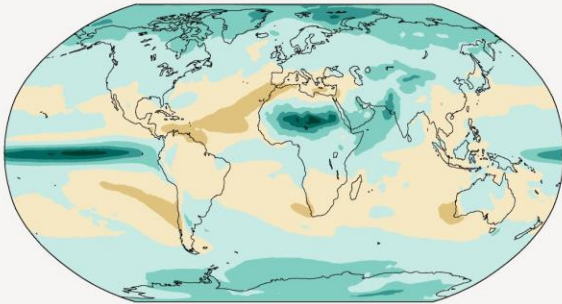
IPCC, 2021

With every increment of global warming, changes get larger in regional mean temperature, precipitation and soil moisture

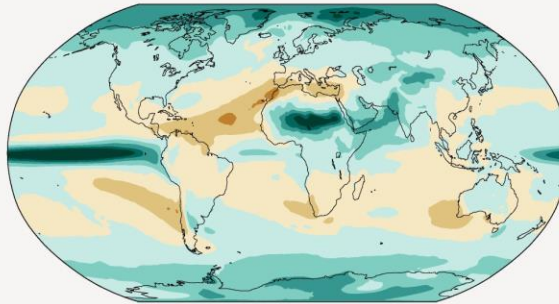
c) Annual mean precipitation change (%) relative to 1850-1900

Precipitation is projected to increase over high latitudes, the equatorial Pacific and parts of the monsoon regions, but decrease over parts of the subtropics and in limited areas of the tropics.

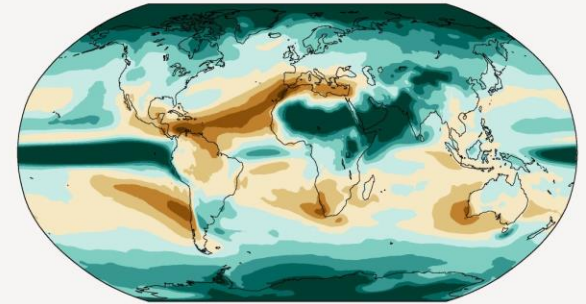
Simulated change at 1.5 °C global warming



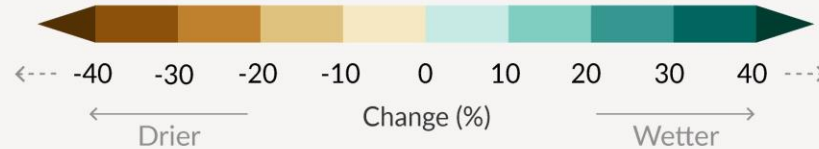
Simulated change at 2 °C global warming



Simulated change at 4 °C global warming



Relatively small absolute changes may appear as large % changes in regions with dry baseline conditions

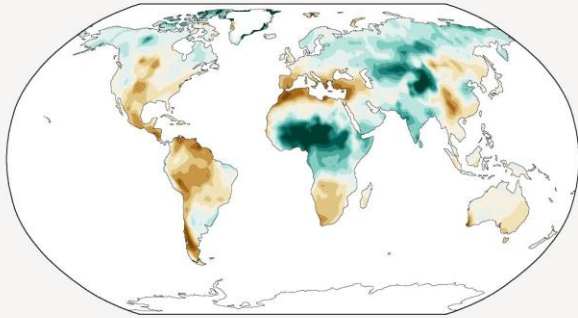


With every increment of global warming, changes get larger in regional mean temperature, precipitation and soil moisture

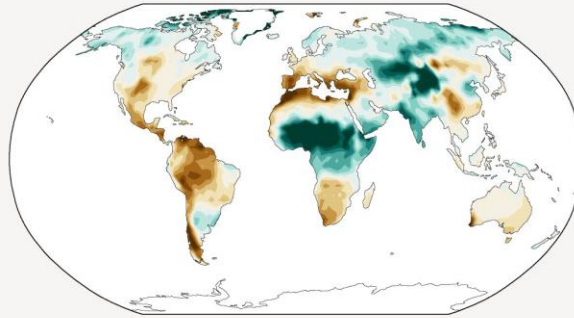
d) Annual mean total column soil moisture change (standard deviation)

Across warming levels, changes in soil moisture largely follow changes in precipitation but also show some differences due to the influence of evapotranspiration.

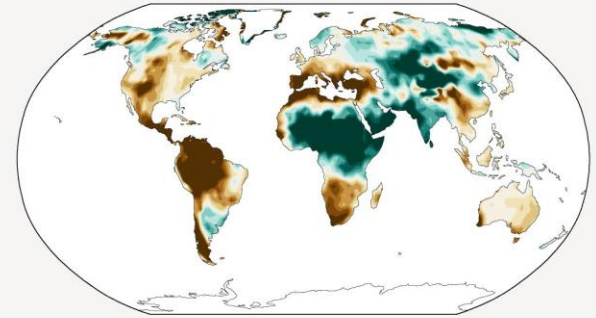
Simulated change at 1.5 °C global warming



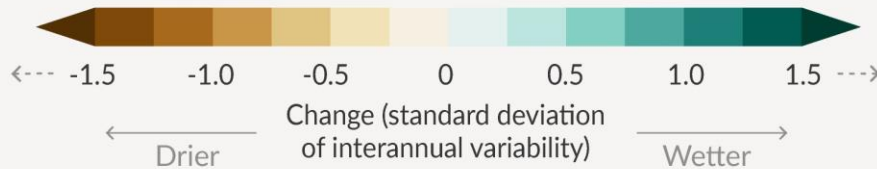
Simulated change at 2 °C global warming



Simulated change at 4 °C global warming

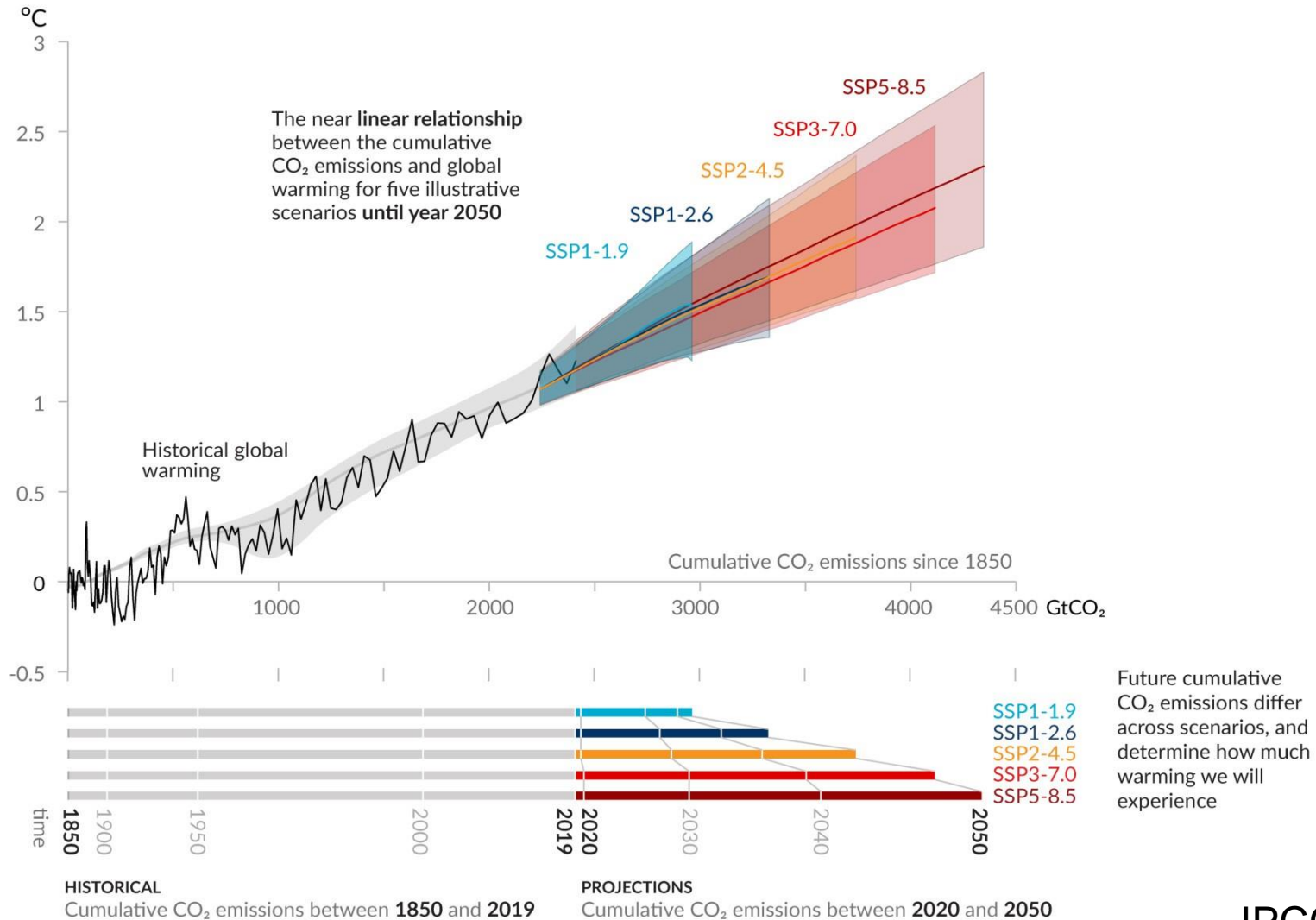


Relatively small absolute changes may appear large when expressed in units of standard deviation in dry regions with little interannual variability in baseline conditions



Every tonne of CO₂ emissions adds to global warming

Global surface temperature increase since 1850-1900 (°C) as a function of cumulative CO₂ emissions (GtCO₂)



IPCC, 2021

Quelle stratégie INRAE?

- Des projections climatiques plus alarmantes (IPCC 2021)
- Des engagements politiques pour l'atténuation (Accords de Paris, SNBC, Agenda2030, European Green Deal) avec peu de résultats (rapport HCC 2019)
- Une attente sociétale forte (convention citoyenne, marches pour le climat)
- Une impréparation de tous les secteurs de l'économie, dont l'agriculture (Rapport Dantec-Roux)
- L'agriculture au cœur de multiples enjeux (changement climatique, sécurité alimentaire mondiale, santé, biodiversité...)



HAUT CONSEIL
pour le CLIMAT

REDRESSER LE CAP,
RELANCER LA TRANSITION

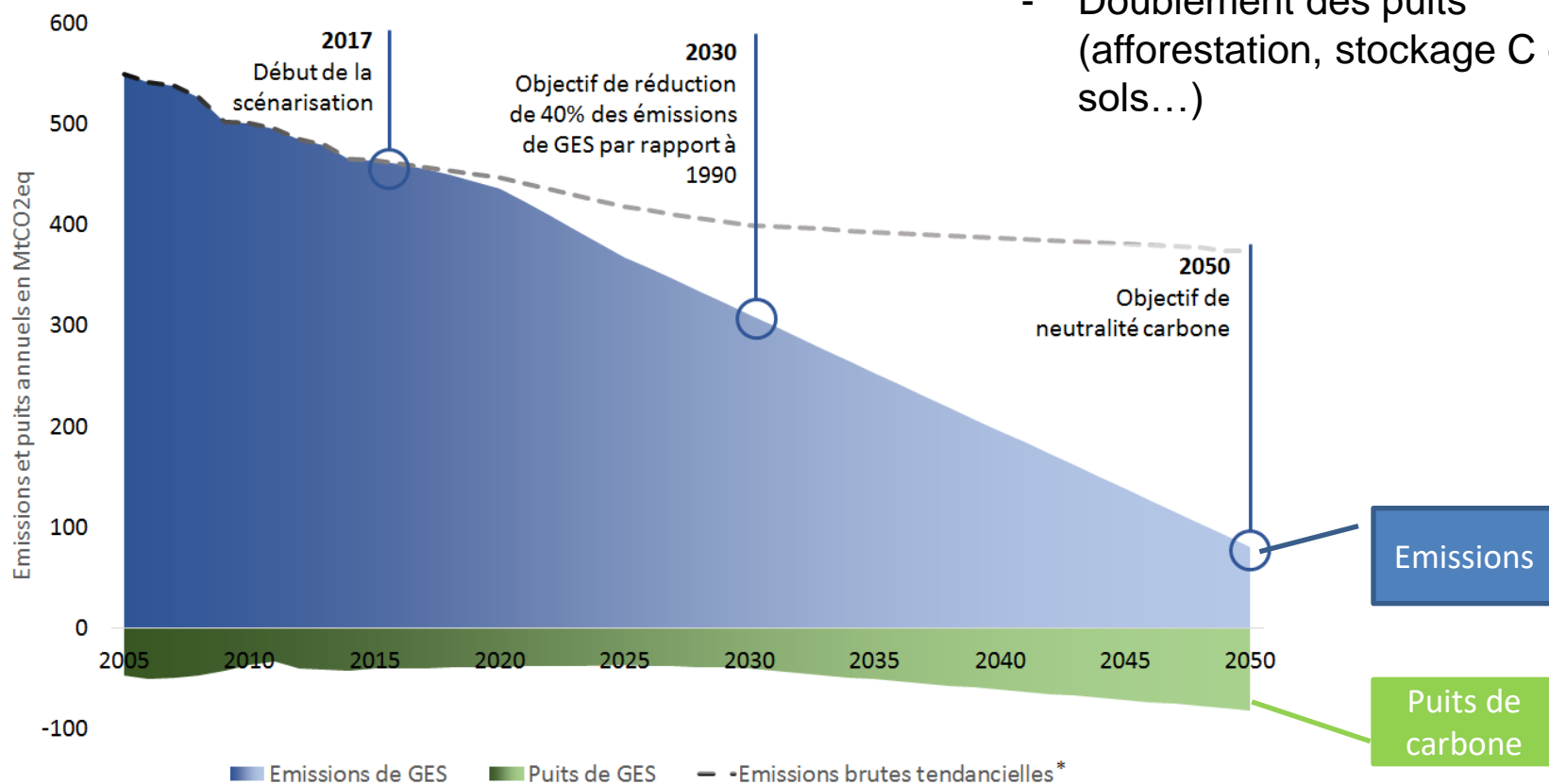
Pour le secteur agri-alimentaire et la forêt

- Un besoin d'**adaptation** renforcé (évolution tendancielle, évènements extrêmes...)
- Une pression croissante pour contribuer à l'**atténuation** et à l'**atteinte de la neutralité carbone** en 2050 (Rapport spécial IPCC sur les terres, SNBC...), qui devrait donner lieu à des politiques incitatives (PAC...) (L'agriculture contribue à 19% des émissions de CO₂e en France)
- Des options **d'adaptation et d'atténuation** parfois synergiques, parfois antagonistes (ex élevage et prairie; enherbement et déficit hydrique...)
- Des difficultés pour traiter simultanément des deux enjeux (pas les mêmes disciplines, pas les même échelles, pas les mêmes partenaires....)
- Des interactions à considérer avec **d'autres enjeux** (sortie des pesticides, biodiversité, alimentation...)

Stratégie Nationale Bas Carbone

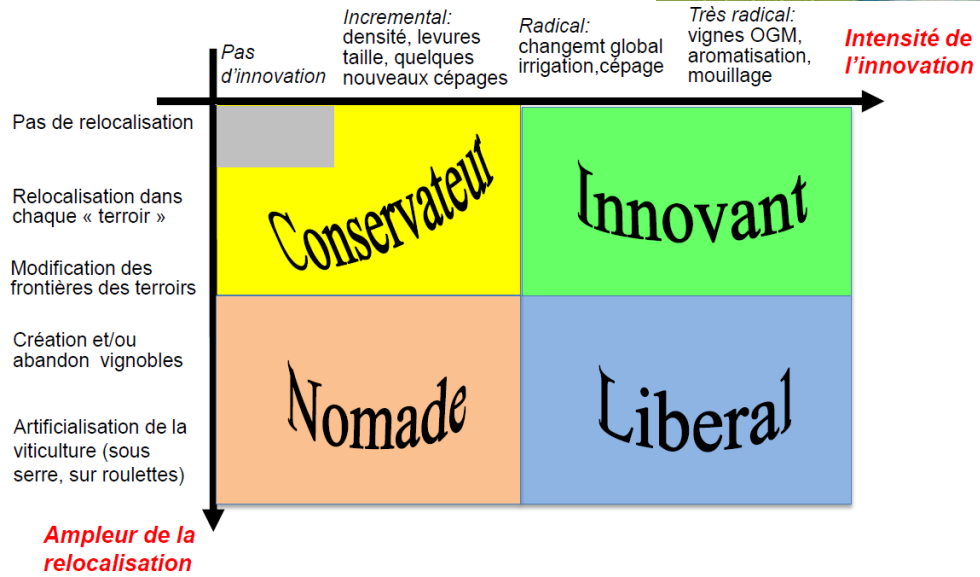
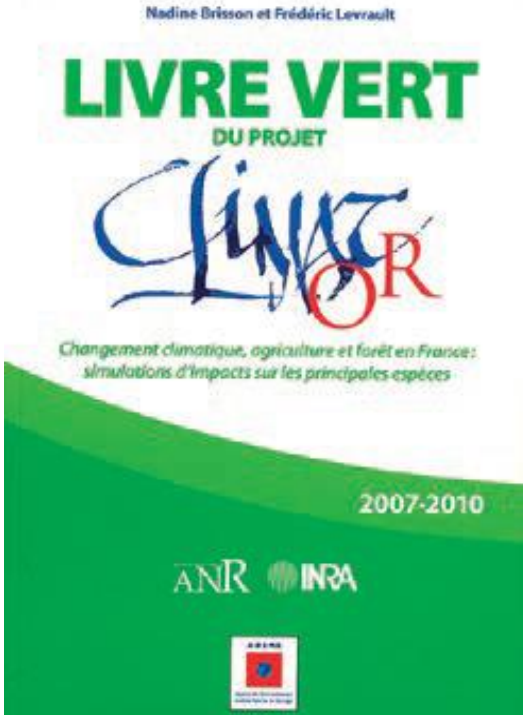
Objectif: neutralité C en 2050

- Division par 6 des émissions (division par 2 en agriculture)
- Doublement des puits (afforestation, stockage C dans les sols...)



Quelle stratégie INRAE?

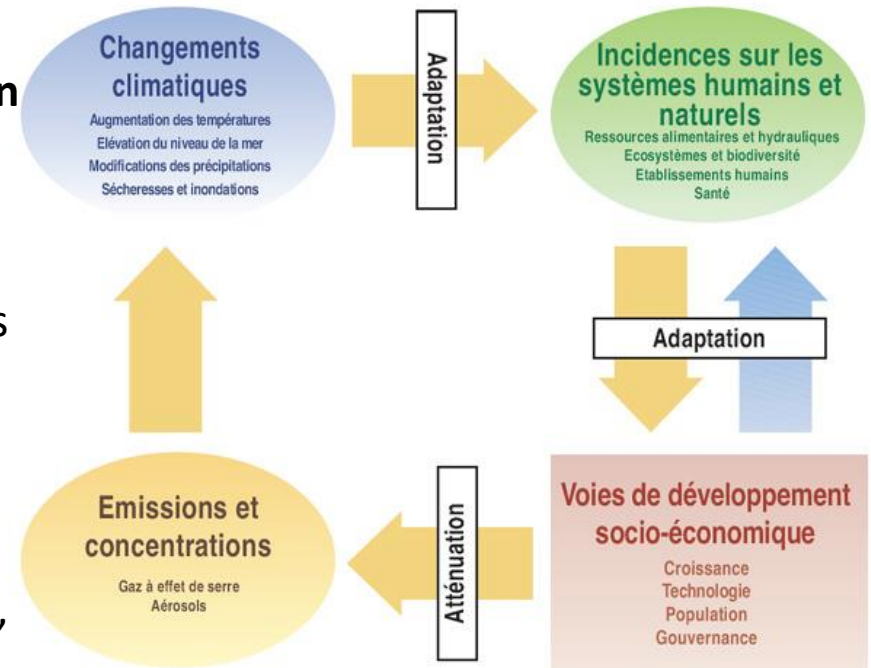
De belles réalisations sur l'enjeu changement climatique



Mais un traitement relativement disjoint des questions d'impact et d'adaptation d'une part, d'atténuation d'autre part

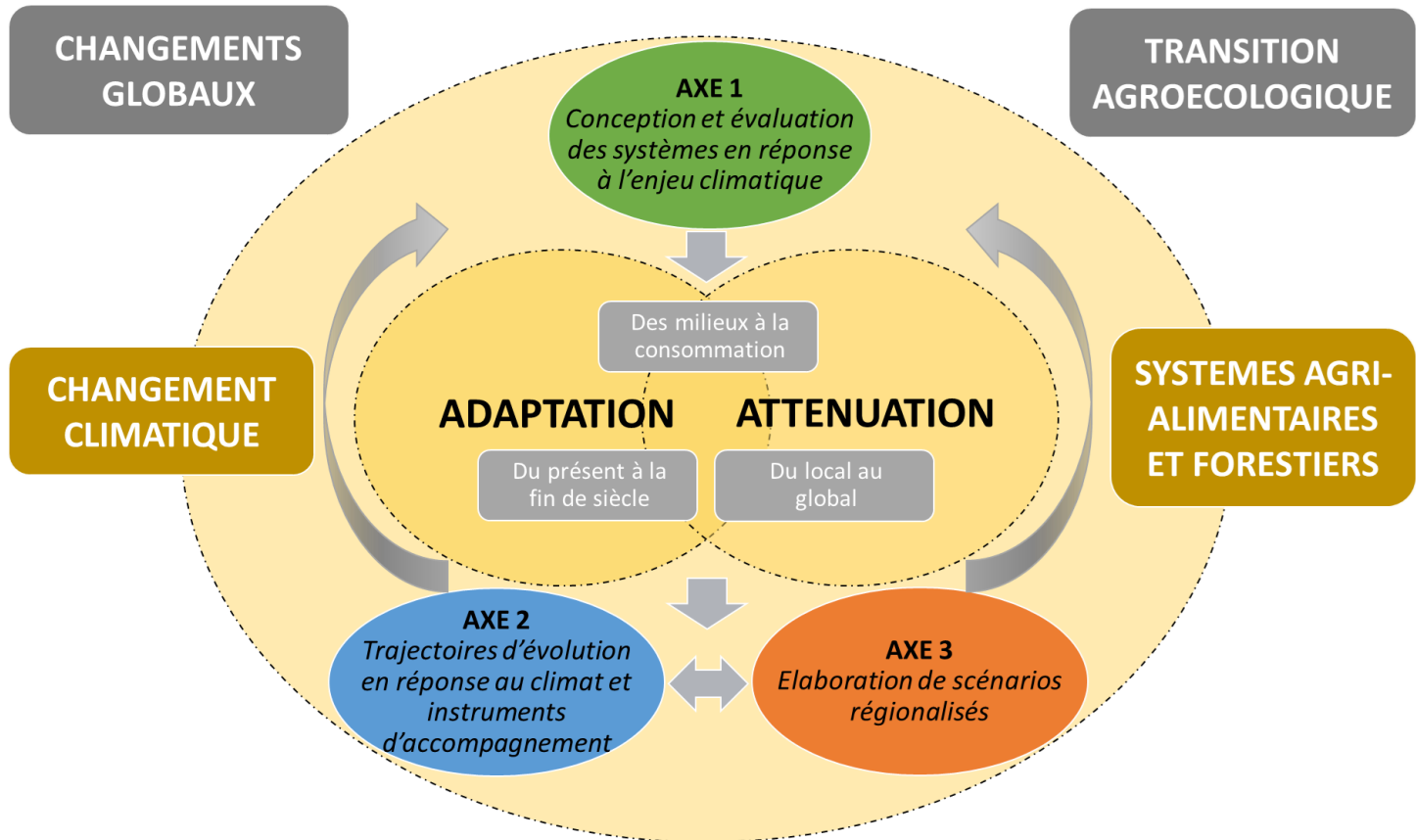
➤ Les ambitions du Métaprogramme CLIMAE

- Produire des connaissances pour accompagner la transformation des systèmes agri-alimentaires et forestiers en vue :
 - de leur **adaptation** au climat futur
 - d'une contribution accrue à l'**atténuation** des émissions de GES
- Traiter des **fronts de science liés à la prise en charge de ces deux objectifs** (jusque là traités indépendamment)
- Privilégier l'exploration de **transformations systémiques**, combinant plusieurs leviers (gestion des ressources, génétique, pratiques, procédés, régimes alimentaires...), dans le cadre d'une approche **interdisciplinaire**



STRUCTURATION DU METAPROGRAMME

→ Trois axes de recherche...



→ ...et une réflexion prospective

AXES DE RECHERCHE (1/3)

Axe 1 : Conception et évaluation de systèmes agri-alimentaires durables associant les objectifs d'adaptation au changement climatique et de contribution à l'atténuation dans un contexte d'agroécologie

Objectifs:

- Analyser la vulnérabilité des systèmes agri-alimentaires et forestiers face au changement climatique
- Repérer des opportunités
- Proposer des leviers d'adaptation et d'atténuation, analyser leurs interactions, analyser les synergies et antagonismes entre ces deux objectifs
- Co-construire et tester avec les acteurs de nouveaux systèmes, et en faire l'évaluation multicritère

Exemples de questions de recherche interdisciplinaires

- Comment évaluer la vulnérabilité des systèmes actuels et futurs aux aléas climatiques (évolution tendancielle, variabilité accrue), dans un contexte de forte incertitude, en tenant compte à la fois des effets directs (biophysiques) et indirects (via les marchés) ?
- Quels génotypes, pratiques, procédés utilisés conjointement permettraient de valoriser les opportunités liées au changement climatique (ex $\uparrow pCO_2$) dans un objectif d'adaptation et d'atténuation ?
- Quelles sont les synergies et antagonismes entre adaptation et atténuation ? À quels niveaux d'organisation s'expriment-ils ?
- Quelles sont les synergies et antagonismes entre les objectifs d'adaptation et d'atténuation et la transition agroécologique ?

AXES DE RECHERCHE (2/3)

Axe 2 : Trajectoires d'évolution et instruments d'accompagnement

Objectifs

- Repérer les transitions ou ruptures particulièrement délicates
- Identifier et analyser des évolutions en cours, des transitions réussies ou des échecs, pour repérer les facteurs de succès et de difficultés; repérer les verrouillages
- Co-construire avec les acteurs des trajectoires de transformation entre systèmes actuels et futurs, sous climat changeant et incertain
- Mettre à disposition des opérateurs du changement les moyens mobilisables pour préparer, concevoir, accompagner les transformations vers l'adaptation et l'atténuation (ex. services hydro-agro-climatiques)
- Identifier les politiques publiques et les instruments incitatifs susceptibles de favoriser et sécuriser ces trajectoires d'adaptation et d'atténuation, dans un contexte de forte incertitude.

Exemples de questions de recherche interdisciplinaires

- Quels sont les rôles respectifs des évolutions tendanciennes et des événements extrêmes dans les trajectoires d'évolution spontanée des systèmes ?
- Comment tenir compte des différentes sources d'incertitude (dont climatique) dans la co-construction des trajectoires d'adaptation et d'atténuation ?
- Comment intégrer les progrès génétiques et technologiques à venir dans les trajectoires d'évolution ?
- Comment mettre en synergie l'adaptation et l'atténuation avec l'évolution des régimes alimentaires (ex. part des produits animaux dans l'alimentation) ?
- Quels sont les instruments incitatifs à mobiliser (labels bas carbone, paiements pour services environnementaux...), et à quelle échelle, pour favoriser conjointement adaptation et atténuation ?

AXES DE RECHERCHE (3/3)

Axe 3 : Elaboration de scénarios régionalisés

Objectifs

- Scénariser et mettre en cohérence les transformations envisagées pour l'adaptation et l'atténuation dans les territoires, en associant les acteurs
- En faire une évaluation qualitative et quantitative agrégée aux échelles régionales et nationales (occupation du sol, production agricole et forestière globale, consommation d'eau, stockage de carbone, émissions de gaz à effet de serre, production et consommation d'énergie...) sous scénarios climatiques (couplage scénarisation-modélisation)
- En faire un support d'interaction (voire une plateforme) externe (avec les acteurs et décideurs publics) et interne (contexte ou scénarios de référence pour les travaux des départements)

Exemples de questions de recherche interdisciplinaires

- Quel poids relatif donner aux objectifs d'adaptation et d'atténuation selon le contexte territorial ? Comment et à quelles échelles articuler les deux objectifs ?
- Quels changements d'occupation du sol envisager (diversification, afforestation...) ? Quels déplacements d'aires de production seraient nécessaires ? A quelle échéance ?
- Comment gérer la ressource en biomasse pour combiner les objectifs d'adaptation et d'atténuation ? En quoi le changement climatique déplace l'optimum d'utilisation de la biomasse ?
- Comment réassocier agriculture et élevage, selon quelles modalités ?

MODALITES de SOUTIEN CLIMAE

| | Type de soutien | Objectifs | Manifestation d'intérêt | Budget | Durée | Tempo |
|----------------------------------|---|--|--|------------------------------------|-----------|---------------------|
| ANIMATION | Consortia multi-acteurs | Susciter, accompagner des communautés scientifiques interdisciplinaires | Présentation d'un pré-consortium au CoPil. | ≤ 10 k€ | ≤ 18 mois | Au fil de l'eau |
| PROJET INTERDISCIPLINAIRE | Projets exploratoires interdisciplinaires * | Encourager la prise de risque, établir des preuves de concept | AMI en 2 étapes: i) lettre d'intention, ii) proposition complète | ≤ 50 k€ | ≤ 2 ans | AMI Pluri-annuel |
| | Projets emblématiques interdisciplinaires ** | Co-construction avec le CoPil de projets ayant un impact scientifique et/ou sociétal | Appel à idées par le CoPil selon besoins identifiés | 100 – 300 k€ | ≥ 2 ans | Pluri-annuel |
| FORMATION | ½ bourses de thèse | Encourager la formation à la recherche sur des fronts interdisciplinaires prioritaires du MP | Appel à sujets de thèse sur des thématiques identifiées par le CoPil | 1 ou 2 demi-bourse(s) / an et / MP | 3 ans | Annuel |



Merci pour votre attention!





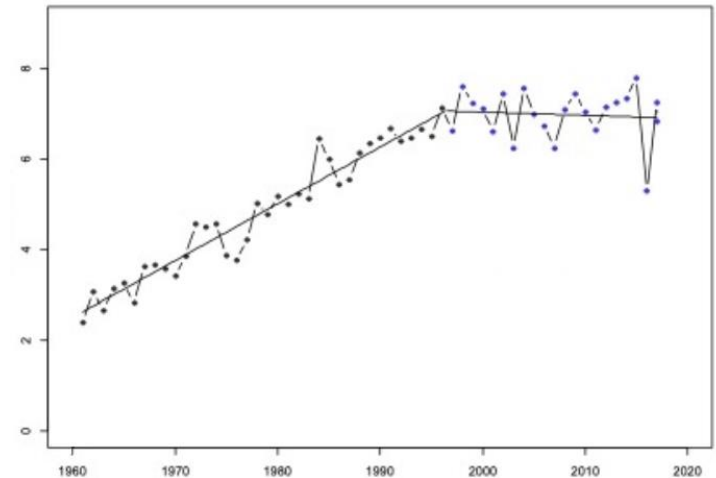
Cultures annuelles

- Contribution à l'augmentation du rendement (ex. betterave sucrière, pomme de terre)
- Stagnation du rendement (ex. blé)

Cultures pérennes :

- Récoltes plus précoces
- Floraison plus précoce de certaines variétés fruitières
- Vernalisation insuffisante de certaines variétés fruitières
- Changement dans la qualité

Tendances globalement négatives, mais pas encore de menaces trop critiques au niveau national → laisse la place à la mise en place / réflexion de stratégies d'adaptation



➤ Impact du changement climatique sur la production

Globalement incidence négative sur les principales cultures des régions tropicales et tempérées, du changement climatique, à défaut d'une adaptation en cas de hausses locales de la température moyenne de 2 °C ou plus par rapport aux niveaux de la fin du XXe siècle (degré de confiance moyen).

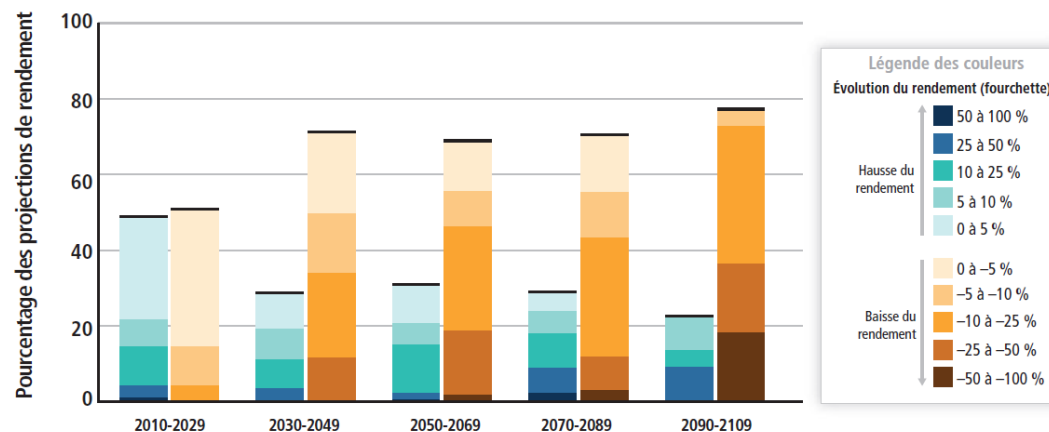
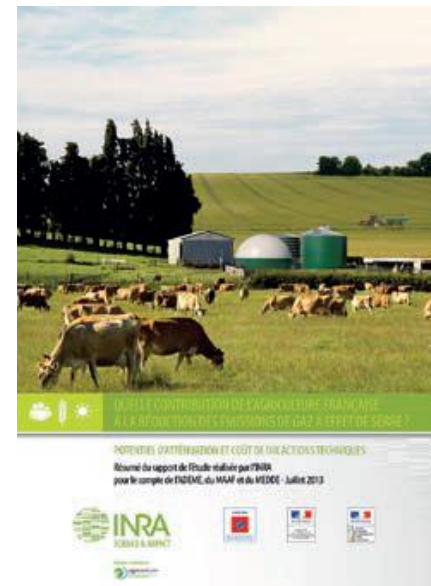


Figure RT.9 | Résumé des changements projetés du rendement des cultures dus au changement climatique au cours du XXI^e siècle. Le graphique présente des projections correspondant à différents scénarios d'émissions, pour les régions tropicales et tempérées, et pour des cas combinés d'adaptation et de non-adaptation. Relativement peu d'études ont pris en compte les incidences sur les systèmes de culture de scénarios où les températures moyennes globales augmentent de 4 °C ou plus. Les données (n = 1 090) sont présentées en abscisse en cinq périodes de 20 ans incluant le point médian de chaque future période de projection. Les variations du rendement des cultures sont établies par rapport aux niveaux correspondant à la fin du XX^e siècle. La somme des données correspondant à chaque période est de 100 %. [Figure 7-5]

Bref historique des recherches sur le changement climatique à l'INRA

Sur l'atténuation

- Avant les années 90: travaux sur cycle C/N, échelle locale, perspective optimisation, réduction des fuites (surtout vers l'eau)
- A partir des années 90, interpellations sur la contribution des écosystèmes terrestres au cycle du carbone. Fonction « Puits » des écosystèmes terrestres; émissions N₂O; mesures et modélisation; réseaux internationaux (ICOS) débat sur agrocarburants (Crutzen *et al*)
- Contribution de l'agriculture aux émissions (N₂O, CH₄); leviers d'atténuation
- Rôle des sols dans cycle C; 1^{ere} expertise en 2002; nouvelle expertise en 2019; RMQS



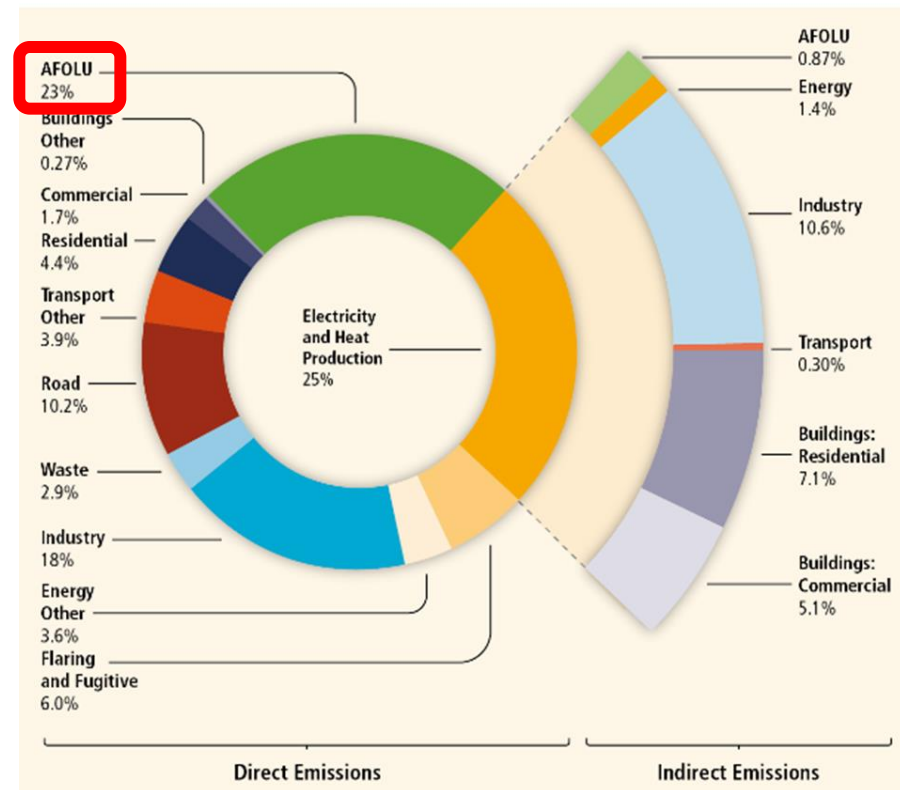
L'agriculture : Un secteur émetteur de gaz à effet de serre mais potentiellement contributeur à l'atténuation (stockage de carbone, énergie renouvelable)

A l'échelle globale, le secteur des "terres" (AFOLU = Agriculture, Forestry and Other Land Use) représente 23% des émissions de gaz à effet de serre exprimées en CO₂e

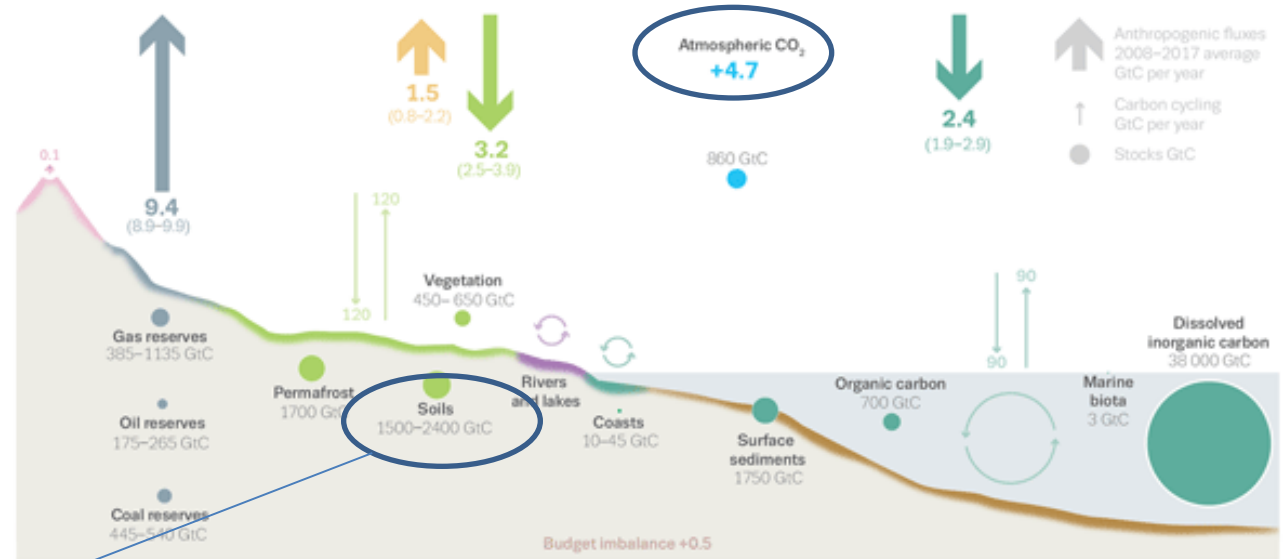
Poids important du CH₄, du N₂O

Environ 30% émissions anthropiques totales de GES provient des systèmes alimentaires (incluant les émissions liées au transport, stockage, conditionnement)

Le rapport du GIEC de 2019 établit qu'il ne sera pas possible d'atteindre les objectifs de l'accord de Paris sans une contribution importante de ce secteur



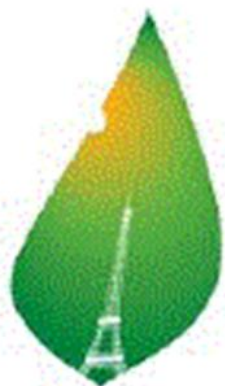
The global carbon cycle



830 Gt C in the upper layer (0-30cm)

- ↑ Fossil CO₂ E_{FF}
- ↑ Land-use change E_{LUC}
- ↓ Land uptake S_{LAND}
- ↓ Ocean uptake S_{OCEAN}
- + Atmospheric increase G_{ATM}
- ▨ Uncertainty values
- Budget Imbalance B_{IM}

Other calculation (also yielding the 4‰ aspirational value) : increasing soil C stocks by 4 ‰ per year in the upper layer (830 X 4/1000 = 3,3 Gt C) would almost compensate the net increase in the atmosphere if land use change (esp. deforestation) is stopped (+4,7-1,5 = 3,2 Gt C)



PARIS2015
UN CLIMATE CHANGE CONFERENCE
COP21·CMP11

4 POUR 1000

LES SOLS POUR LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE ET LE CLIMAT

COMMENT STOCKER PLUS DE CARBONE DANS LES SOLS ?



LIMITER LE TRAVAIL DU SOL

FERTILISATION HAIES AGROFORESTERIE

RESTAURER LES TERRES



PROGRAMME PRÉVISIONNEL

SIDE-EVENT
« 4 POUR 1000 »

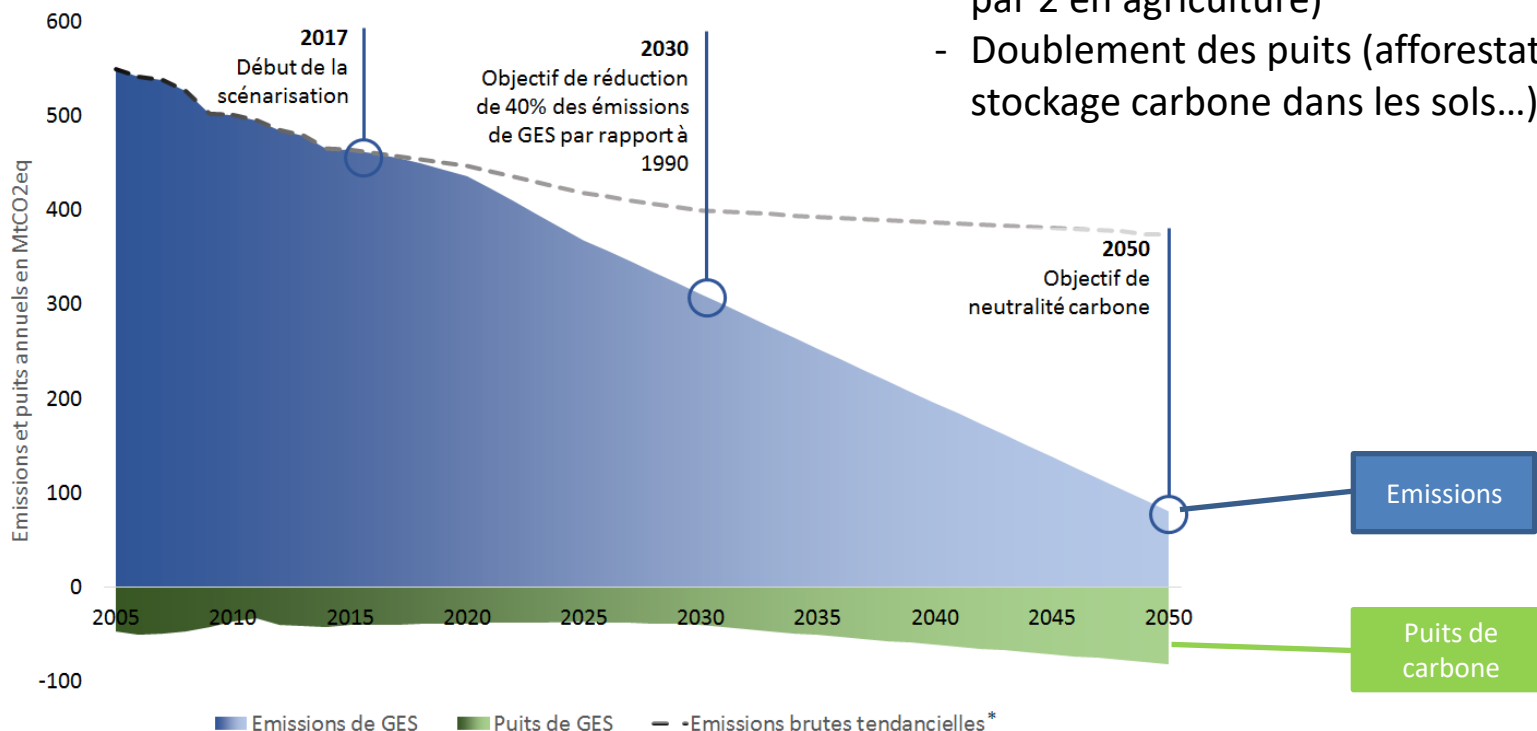
COP 22 – MARRAKECH



Stratégie Nationale Bas Carbone de la France

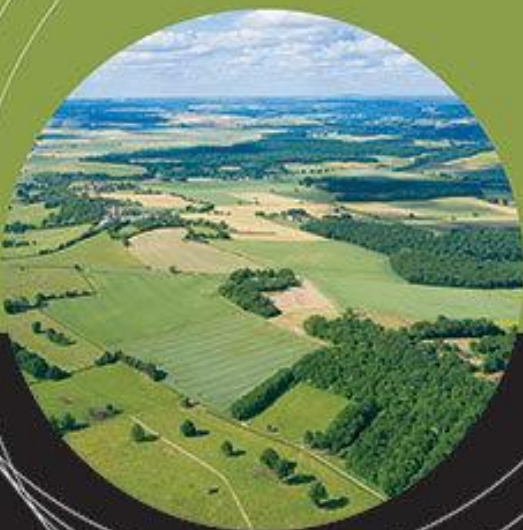
Objectif : neutralité carbone en 2050

- Division par 6 des émissions (division par 2 en agriculture)
- Doublement des puits (afforestation, stockage carbone dans les sols...)



Stocker du carbone dans les sols français Quel potentiel et à quel coût ?

S. Pellerin, L. Bamière, I. Savini, O. Réchauchère, coord.



éditions
Quæ

Received: 24 December 2019 | Revised: 7 December 2020 | Accepted: 5 January 2021

DOI: 10.1111/gcb.15547

PRIMARY RESEARCH ARTICLE

Feasibility of the 4 per 1000 aspirational target for soil carbon: A case study for France

Manuel P. Martin¹ | Bassem Dimassi^{1†} | Mercedes Román Dobarco¹ |
Bertrand Guenet^{2,3} | Dominique Arrouays¹ | Denis A. Angers⁴ | Fabrice Blache⁵ |
Frédéric Huard⁶ | Jean-François Soussana⁷ | Sylvain Pellerin⁸

¹INRAE, InfoSol, Orléans, France

²Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, LSCE/IPSL, CEA-CNRS-UVSQ, Université Paris-Saclay, Gif-sur-Yvette, France

³Laboratoire de Géologie de l'ENS, PSL Research University, CNRS, UMR 8538, Paris, France

⁴Agriculture and Agri-Food Canada, Québec City, QC, Canada

⁵Lycée Pothier, Orléans, France

⁶INRAE, AgroClim, Avignon, France

⁷INRAE, Paris, France

⁸INRAE, UMR ISPA, Bordeaux Sciences Agro, Villenave D'Omon, France

Correspondence

Manuel P. Martin, INRAE, InfoSol, F-45075 Orléans, France.
Email: manuel.martin@inrae.fr

Present address

Mercedes Román Dobarco, Sydney Institute of Agriculture & School of Life and Environmental Sciences, The University of Sydney, Eveleigh, NSW 2015, Australia

Funding information

Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation; Agence Nationale de la Recherche, Grant/Award Number: CLAND ANR-16-CONV-003; Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie; LE STUDIUM; European Union's Horizon 2020 Research and Innovation Programme, Grant/Award Number: 774378

Abstract

Increasing soil organic carbon (SOC) stocks is a promising way to mitigate the increase in atmospheric CO₂ concentration. Based on a simple ratio between CO₂ anthropogenic emissions and SOC stocks worldwide, it has been suggested that a 0.4% (4 per 1000) yearly increase in SOC stocks could compensate for current anthropogenic CO₂ emissions. Here, we used a reverse RothC modelling approach to estimate the amount of C inputs to soils required to sustain current SOC stocks and to increase them by 4% per year over a period of 30 years. We assessed the feasibility of this aspirational target first by comparing the required C input with net primary productivity (NPP) flowing to the soil, and second by considering the SOC saturation concept. Calculations were performed for mainland France, at a 1 km grid cell resolution. Results showed that a 30%–40% increase in C inputs to soil would be needed to obtain a 4% increase per year over a 30-year period. 88.4% of cropland areas were considered unsaturated in terms of mineral-associated SOC, but characterized by a below target C balance, that is, less NPP available than required to reach the 4% aspirational target. Conversely, 90.4% of unimproved grasslands were characterized by an above target C balance, that is, enough NPP to reach the 4% objective, but 59.1% were also saturated. The situation of improved grasslands and forests was more evenly distributed among the four categories (saturated vs. unsaturated and above vs below target C balance). Future data from soil monitoring networks should enable to validate these results. Overall, our results suggest that, for mainland France, priorities should be (1) to increase NPP returns in cropland soils that are unsaturated and have a below target carbon balance and (2) to preserve SOC stocks in other land uses.

KEYWORDS

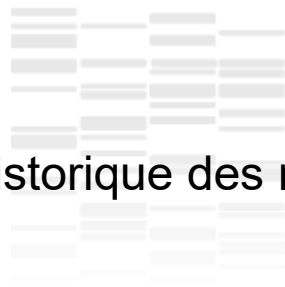
4 per 1000, climate change mitigation, net primary productivity, RothC, SOC saturation, soil organic carbon

[†]Deceased 16 January 2018.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.
© 2021 The Authors. Global Change Biology published by John Wiley & Sons Ltd.

Glob Change Biol. 2021;00:1–20.

wileyonlinelibrary.com/journal/gcb | 1



Bref historique des recherches sur le changement climatique à l'INRA

Sur l'adaptation

- Mise en évidence que l'atténuation ne suffirait pas
- Avant les années 90:
- Métaprogramme ACCAF

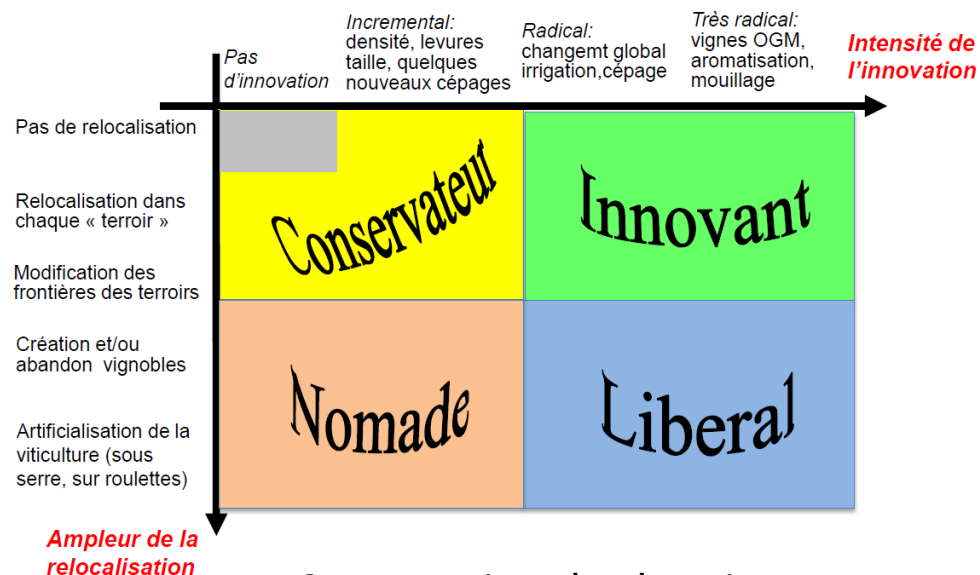
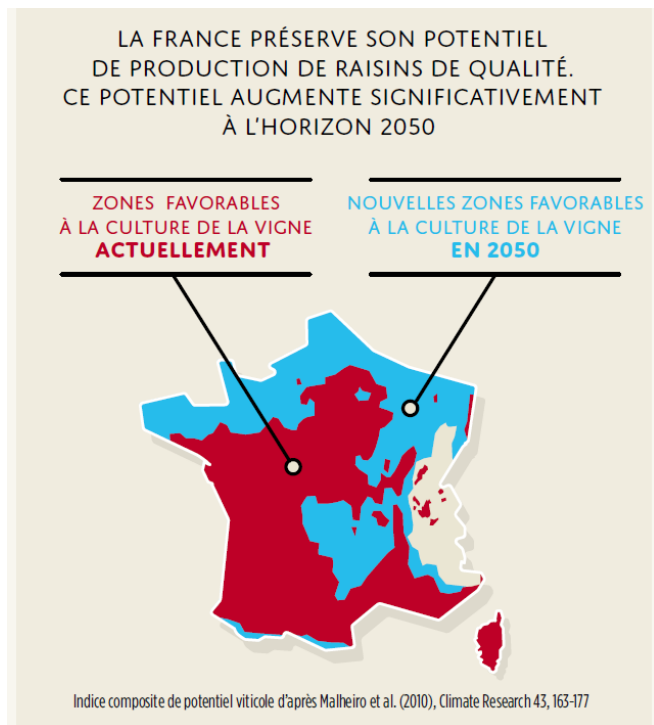
➤ LACCAVE : Long term impacts and adaptation to climate change for viticulture and enology (coord. N. Ollat & J.-M. Touzard)



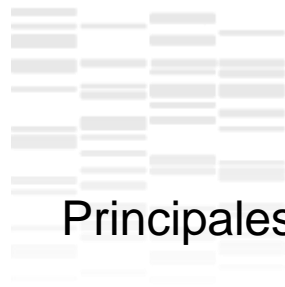
Des adaptations possibles :

- Changer le matériel végétal
- Modifier les pratiques viticoles
- Ajuster les processus œnologiques

- Réorganiser les plantations dans l'espace
- Réviser les institutions
- Associer les consommateurs

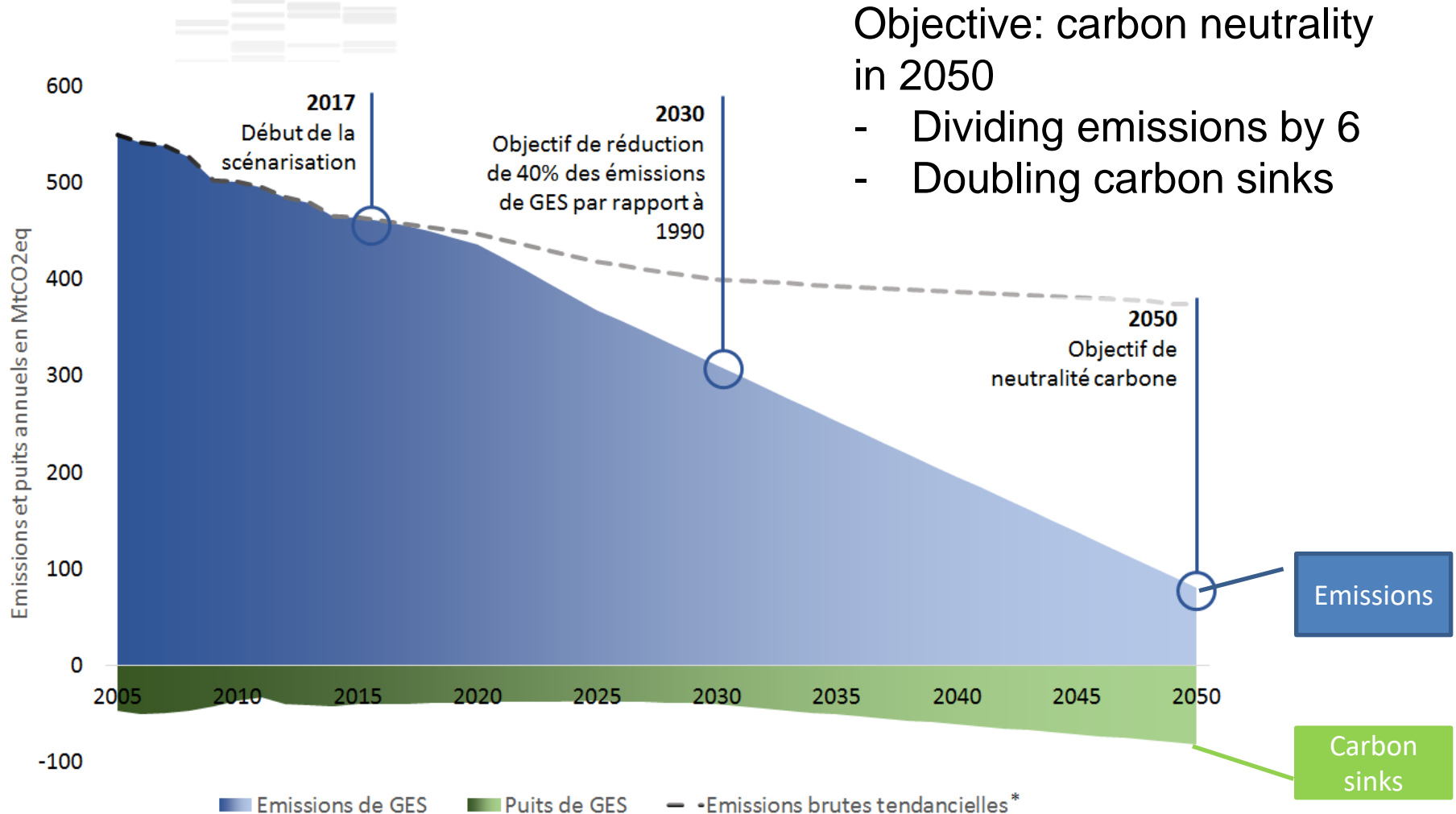


Construction de chemins vers l'adaptation avec les acteurs des filières



Principales actions

The French national low carbon strategy

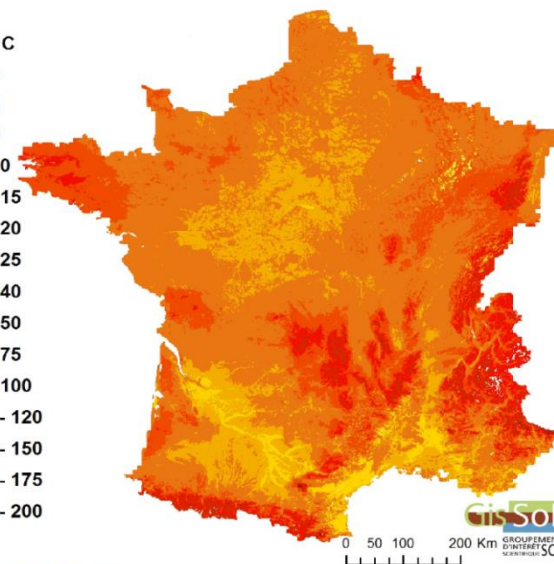
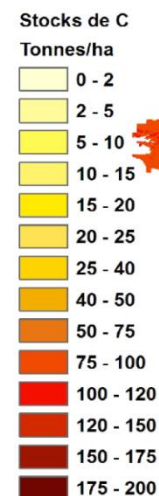


SNBC, 2017

Soil C stocks in France



- Higher in mountainous areas (Alps, Pyrénées, Vosges, Jura, Massif central); lower in plain areas
- Higher under forests and permanent grasslands, lower under croplands



Source: Gis Sol, IGCS-RMQS, Inra 2017.

| | min | mean | max | Standart deviation |
|---|------|-------------|-----|--------------------|
| Carbon stocks under permanent grasslands (t/ha) | 18,1 | 84,6 | 309 | 35.0 |
| Carbon stocks under arable crops (t/ha) | 9,92 | 51,6 | 137 | 16.2 |
| Carbon stocks under forests (t/ha) | 6.87 | 81.0 | 230 | 35.4 |

Data RMQS GIS Sol

The « 4 per mille » initiative at the French level

INRAE has been committed by the French Ministry of Agriculture to produce a report on the potential for additional carbon storage in agricultural soils in mainland France

Objectives

- To assess and map the potential for additional carbon storage in agricultural soils in mainland France following the implementation of soil C storing practices
- To assess their implementation cost
- To propose an optimal cost-efficient strategy for additional soil C storage at the national scale

