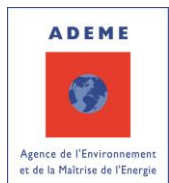




CONFERENCE ENVIRONNEMENT

Changement climatique et cycle de l'eau, quels impacts sur la biodiversité ?

Avec le soutien de



Alexis Assurances

envinergy
CONSEIL & TRANSACTION



LE JOURNAL
ENERGIES
RENOUVELABLES

PUISSANCE
Le magazine de
l'hydroélectricité
HYDR0



URE!
!

PARCE QUE
C'EST NOTRE

COMMENCÉ

Ce qui RISQUE
D'ARRIVER
a DÉJÀ

IL Y A DES
ELICOTS
ERSITÉ
AVEC III

NOTRE PLANÈTE
est le plus
beau ?
SALUT

J'AI PAS
LA TILUNE
POUR VIVRE
PAR LA LUNE

DE TRUISEZ LE
PATRIARCAT,
PAS LA
PLANÈTE

NON ASSISTANCE
À PLANÈTE
EN DANGER!!

ON PREND
LA
RELEVÉ
CLIMATE

J'AIMERAIS
QUE LA TEMPÉRATURE
CROÎTE COMME MES
PÂTES

SAUVONS
NOTRE PLANÈTE

SOLUTION

NOLUTION

COOL KIDS
SAVING
HOT PL

NI
PAS

Eau et adaptation au changement climatique

Les politiques publiques

Jérôme Duvernoy
ONERC



Onerc

Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique

Créé par la loi du 19 février 2001, l'ONERC a trois missions principales :

- collecter et diffuser les informations sur les risques liés au réchauffement climatique ;
- formuler des recommandations sur les mesures d'adaptation à envisager pour limiter les impacts du changement climatique ;
- être en liaison avec le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE



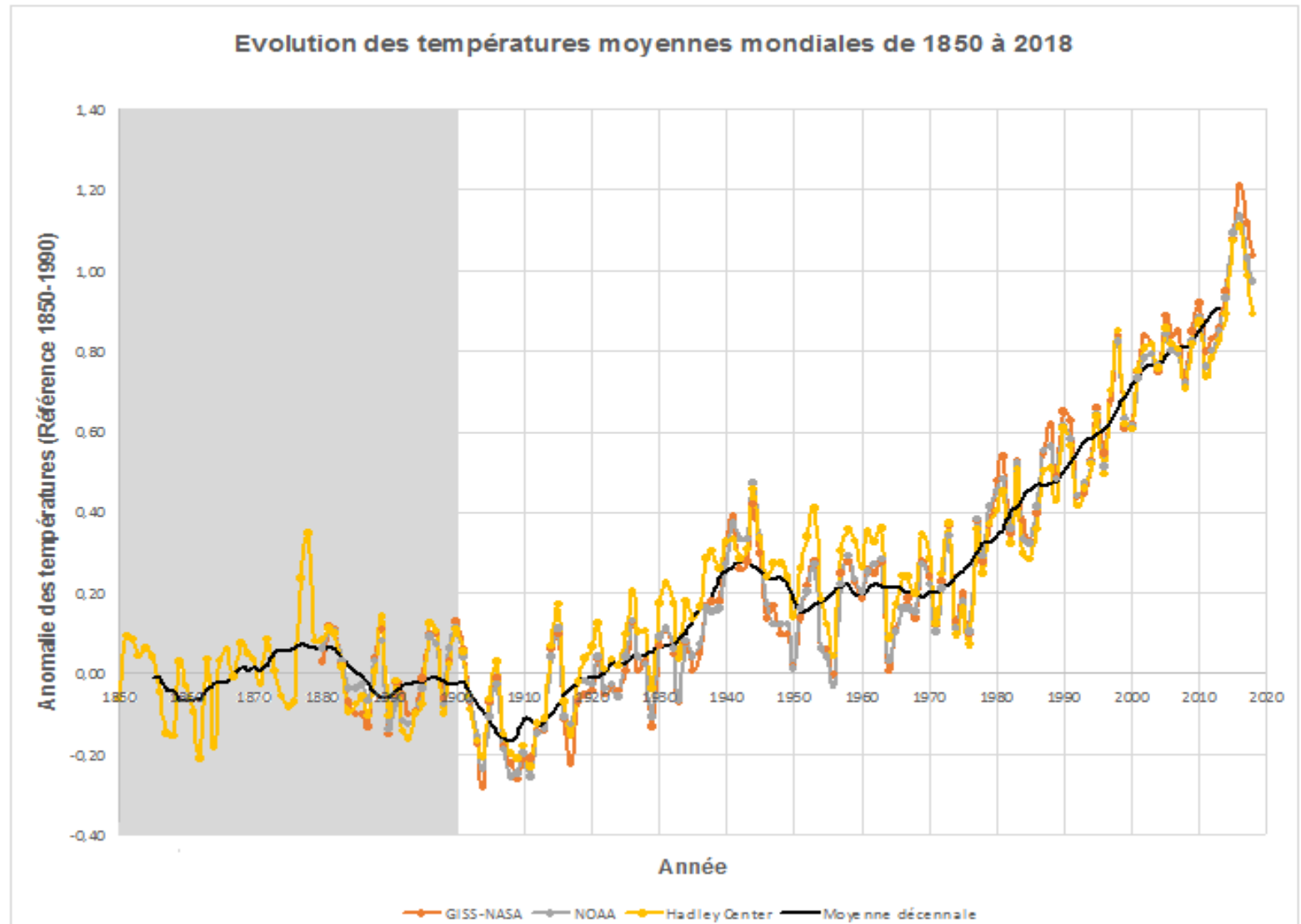
Le Rapport du GIEC 1.5 ° C



- Au rythme actuel, 1,5° C serait atteint entre 2030 et 2052
- Les émissions passées ne conduisent pas inéluctablement jusqu'à 1,5° C
- Pour contenir le réchauffement global à 1,5° C, les émissions de CO₂ devraient atteindre le "net zéro" vers 2050

Le changement climatique

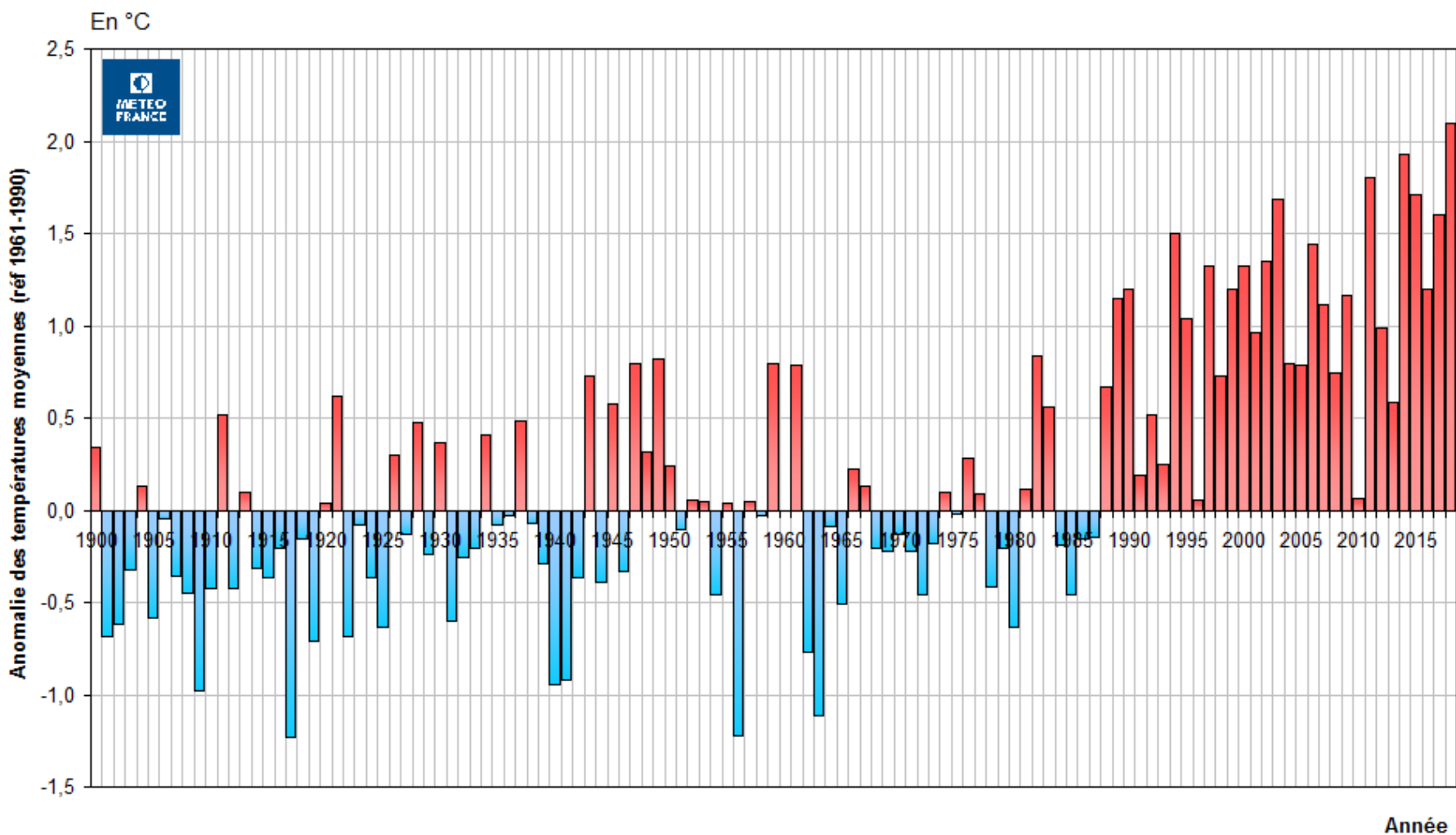
Evolution de la température moyenne mondiale



Liberté · Égalité · Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE

Ecart à la normale des températures moyennes depuis 1900 (normale 1961-1990)



Note : l'évolution de la température moyenne annuelle est représentée sous forme d'écart de cette dernière à la moyenne observée sur la période 1961-1990 (11,8 °C).

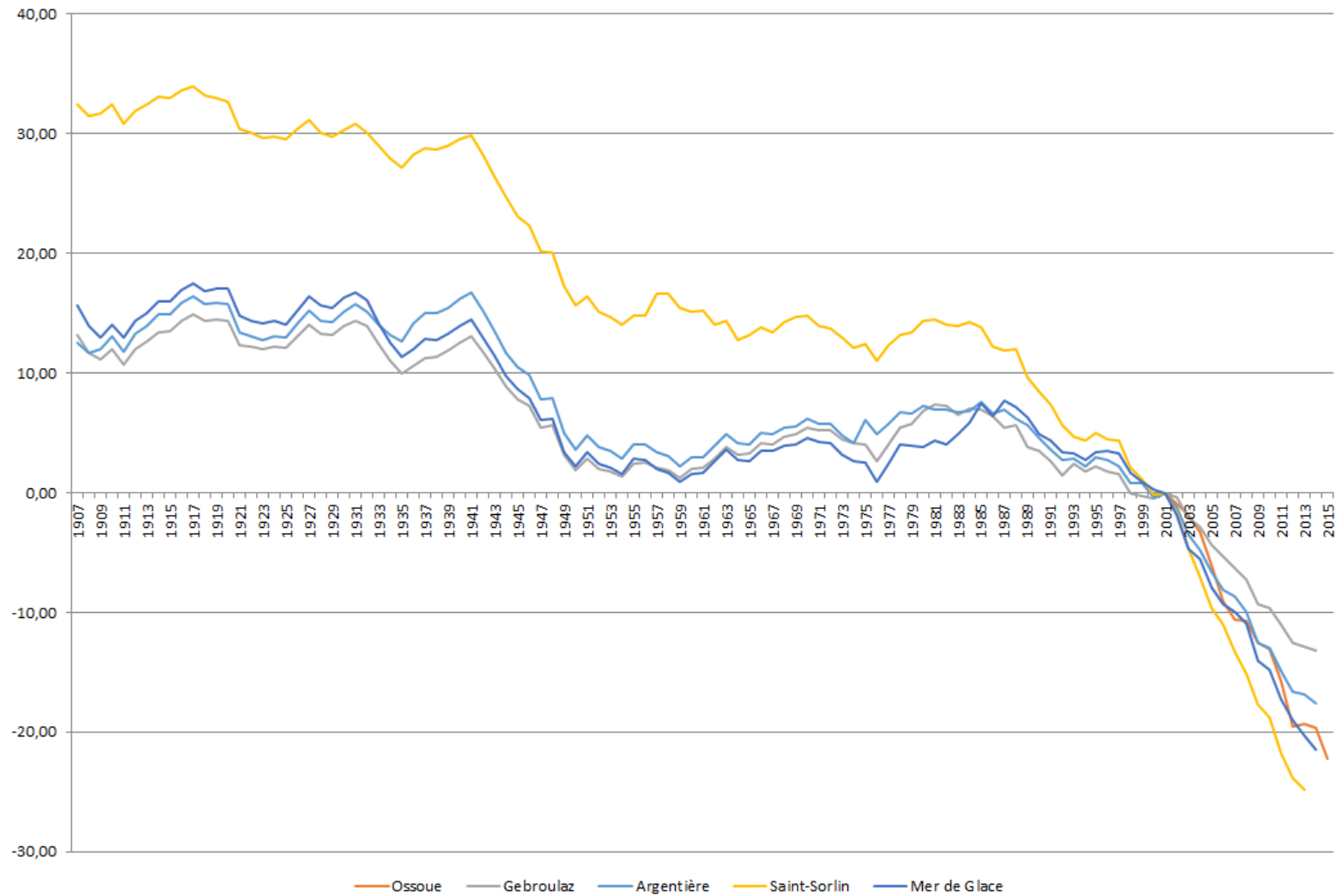
Champ : France métropolitaine.

Source : Météo France



Le changement climatique

Evolution de la masse des glaciers français



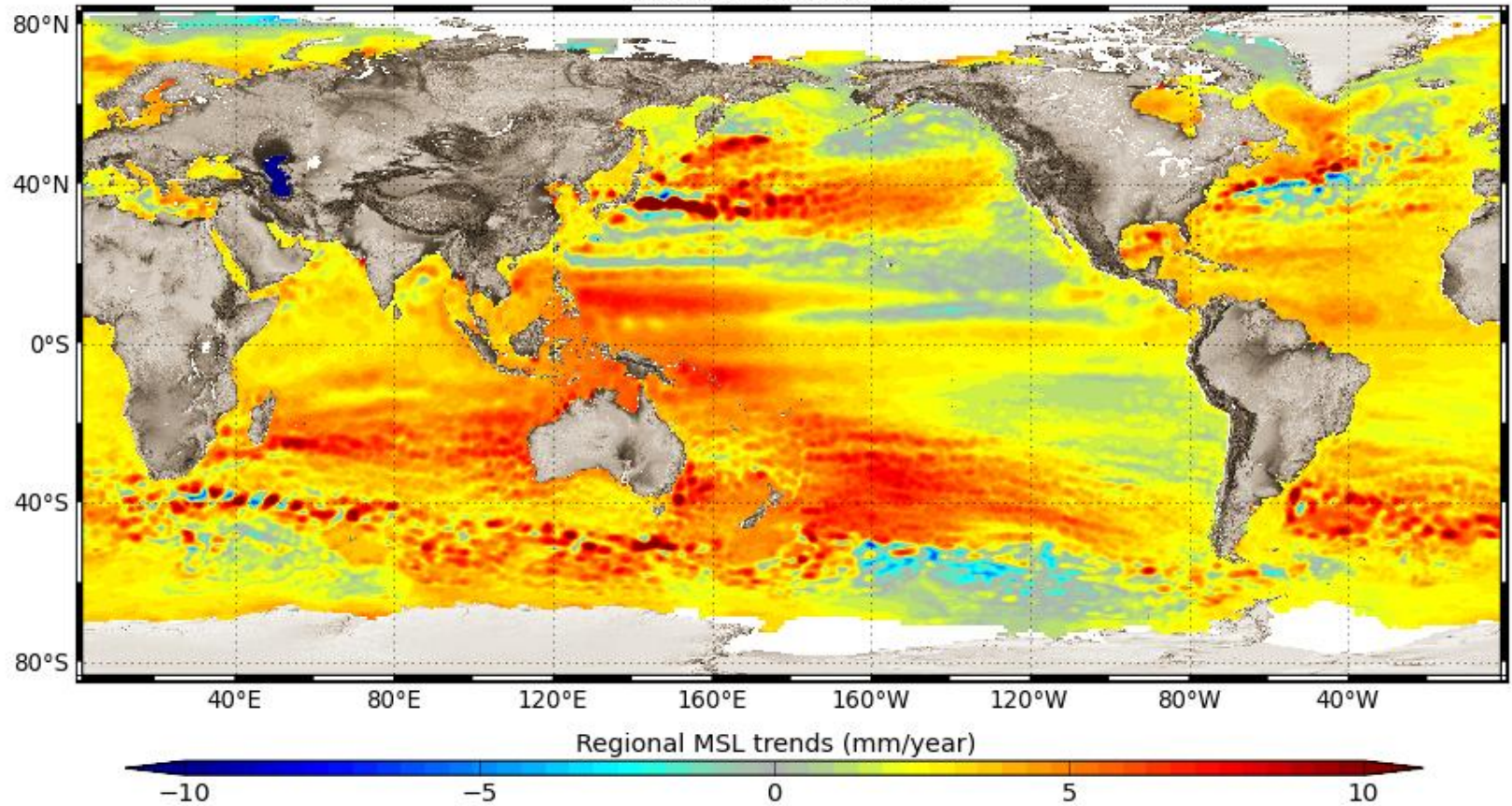
MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE

Le changement climatique

Evolution du niveaux des mers +3,3 mm/an

Multi-Mission Sea Level Trends

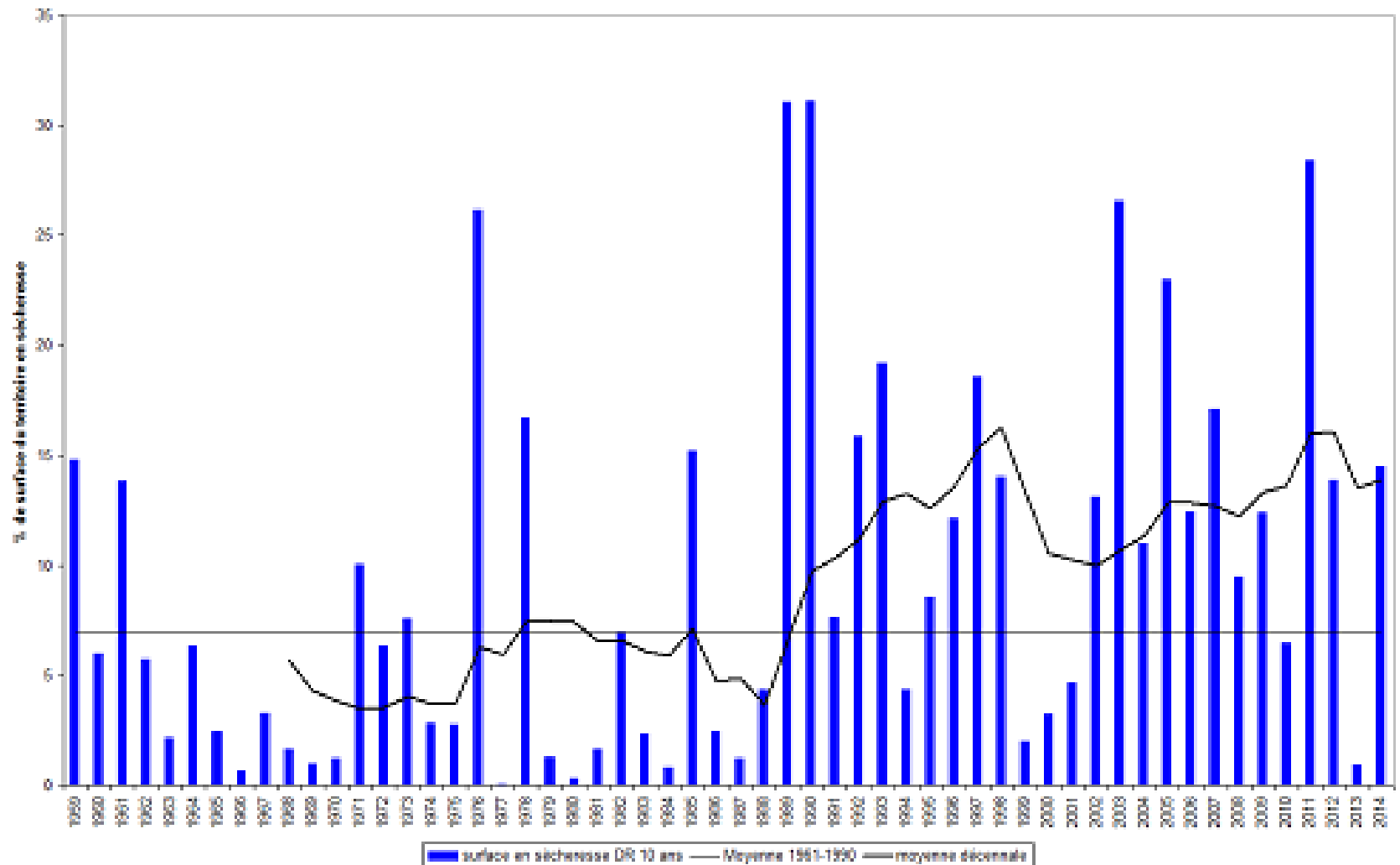
Period: Jan-1993 to Jan-2016



© CNES/LEGOS/CLS, 2016

Le changement climatique

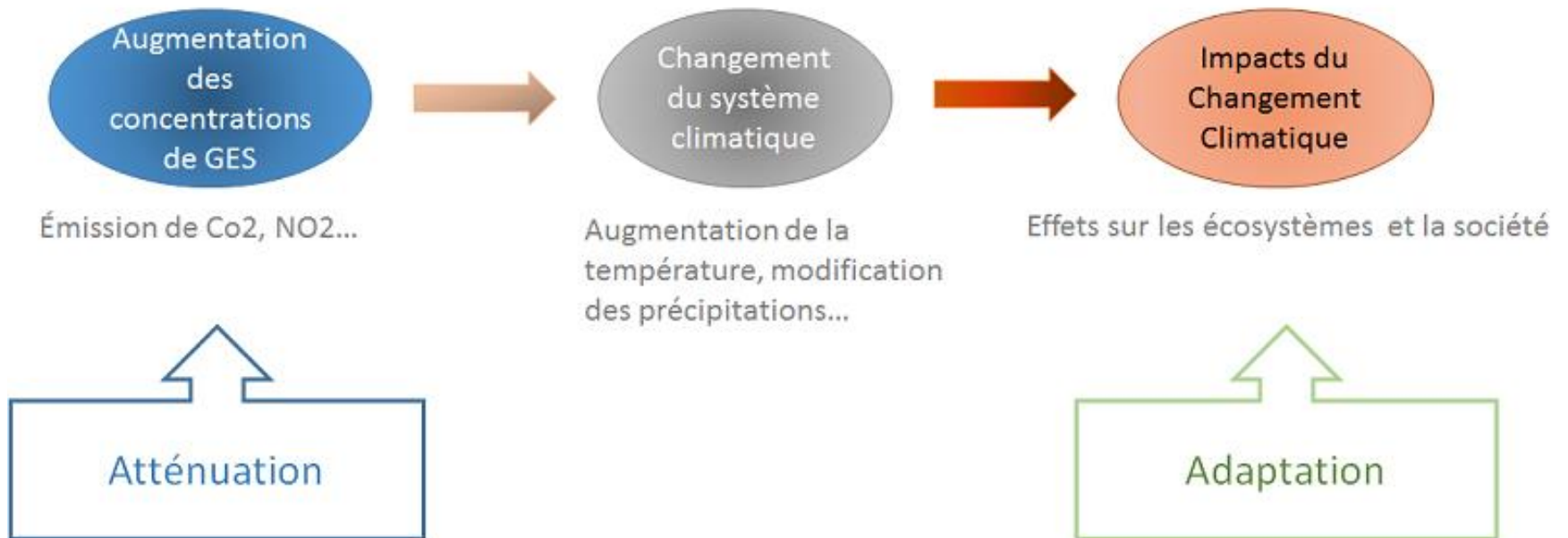
Surface annuelle de la France touchée par la sécheresse



Impacts déjà visibles ou à venir à l'horizon 2050



Atténuation / adaptation



Adaptation

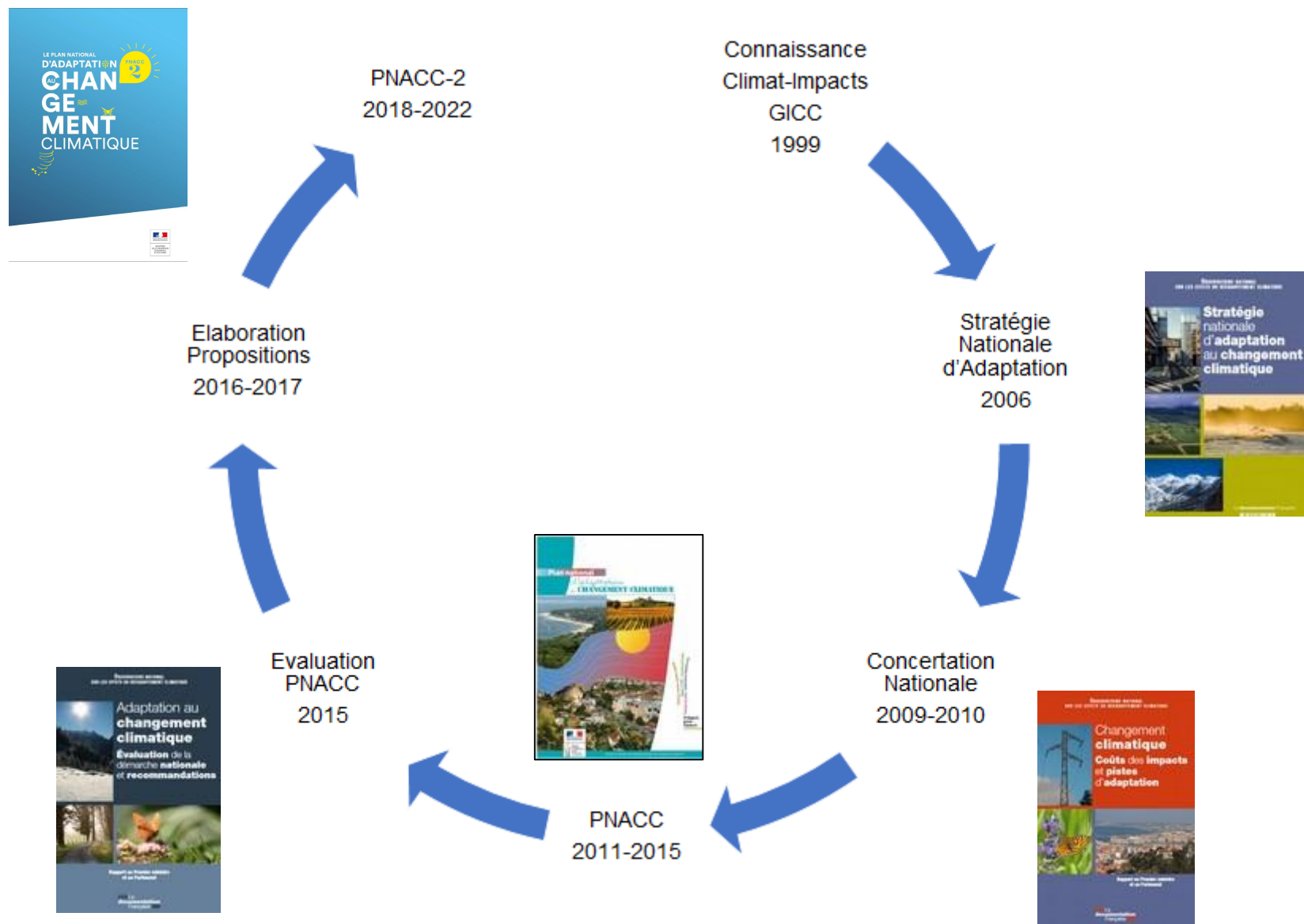
Définition

Démarche d'ajustement au climat actuel ou attendu, ainsi qu'à ses conséquences.

Les formes d'adaptation

- **Adaptation autonome ou spontanée** : adaptation en réponse à un aléa climatique vécu ou à ses effets, sans aucune préméditation explicite ou consciente et axée sur la lutte contre le changement climatique
- **Adaptation incrémentale** : mesures d'adaptation ayant pour objectif principal le maintien de la nature et de l'intégrité d'un système ou d'un processus à une échelle donnée
- **Adaptation transformationnelle** : adaptation qui change les éléments fondamentaux d'un système en réponse au climat et à ses effets.

Adaptation au changement climatique



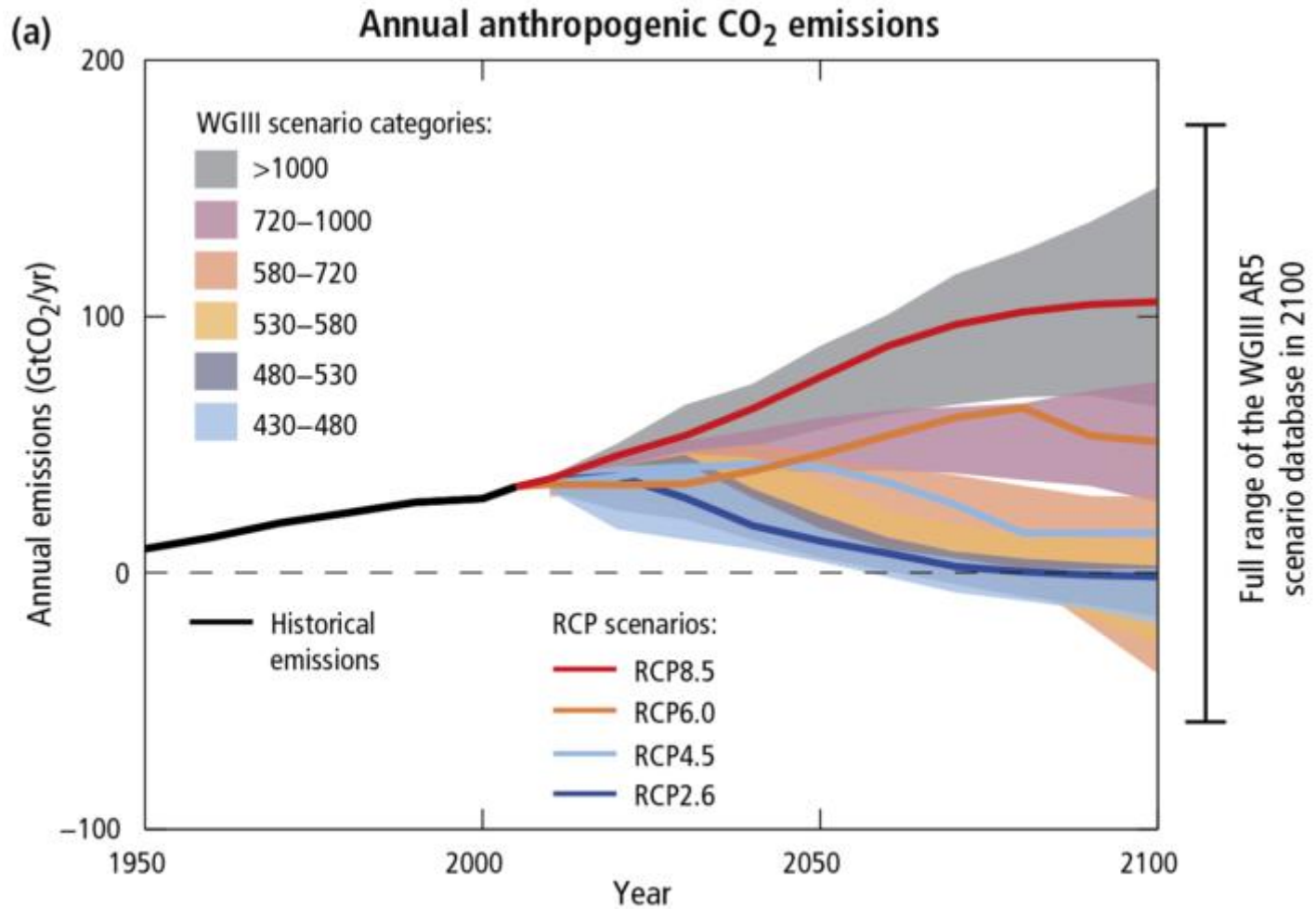
MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE

Objectif général du PNACC 2



Adaptation effective dès le milieu du XXI^e siècle à un climat régional en France métropolitaine et dans les outre-mer cohérent avec une hausse de température de $+1,5 / 2 \text{ } ^\circ \text{C}$ au niveau mondial par rapport au XIX^e siècle

Atténuation





OBJECTIF 2050 :
neutralité carbone

HORIZON 2050

Transports : zéro émission
(à l'exception du transport aérien
domestique)

Bâtiment : zéro émission

Agriculture : réduction de 46 %
des émissions de gaz à effet de serre
par rapport à 2015

Industrie : réduction de 81 %
des émissions de gaz à effet de serre
par rapport à 2015

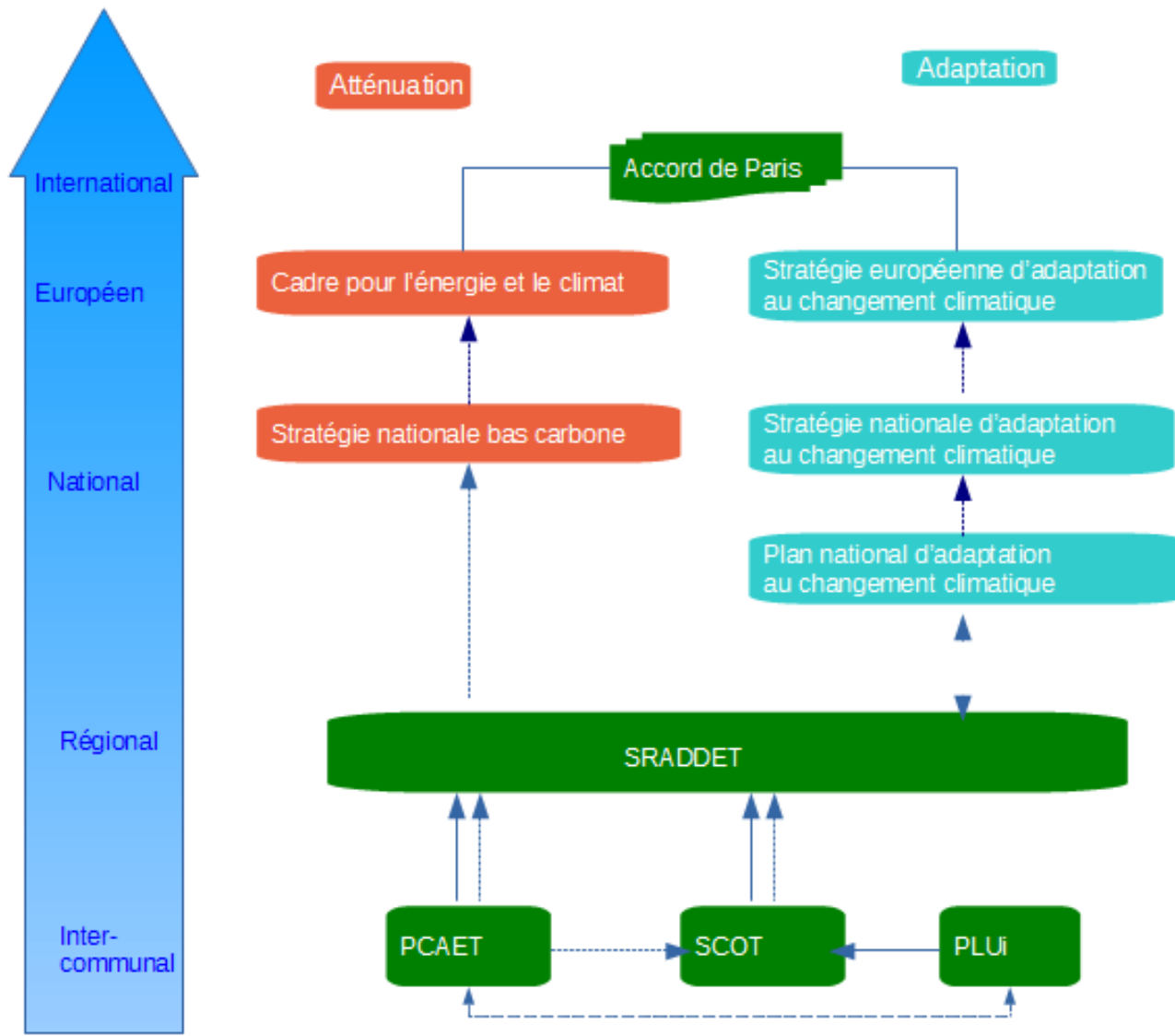
Production d'énergie : zéro émission

Déchets : réduction de 66 %
des émissions de gaz à effet de serre
par rapport à 2015

SNBC : OBJECTIF 1 DÉCARBONER LA PRODUCTION D'ÉNERGIE

Pour y parvenir, il faut se reposer uniquement sur les sources d'énergie suivantes : les ressources en biomasse (déchets de l'agriculture et des produits bois, bois énergie...), la chaleur issue de l'environnement (géothermie, pompes à chaleur...) et l'électricité décarbonée.

Les politiques climatiques



Les politiques liées à l'eau

Au niveau national :

Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC-2)

Plan biodiversité

A l'échelle administrative :

Prise en compte du changement climatique dans les documents d'aménagement et d'urbanisme (**SRADDET, PCAET**, Documents stratégiques de façades...) / Compatibilité SRADDET avec le SDAGE – identification de l'enjeu eau dans la phase de diagnostic

A l'échelle du bassin versant :

Prise en compte du changement climatique dans les **SDAGE** (plan/stratégie d'adaptation au changement climatique des différents bassins hydrographiques), PGRI



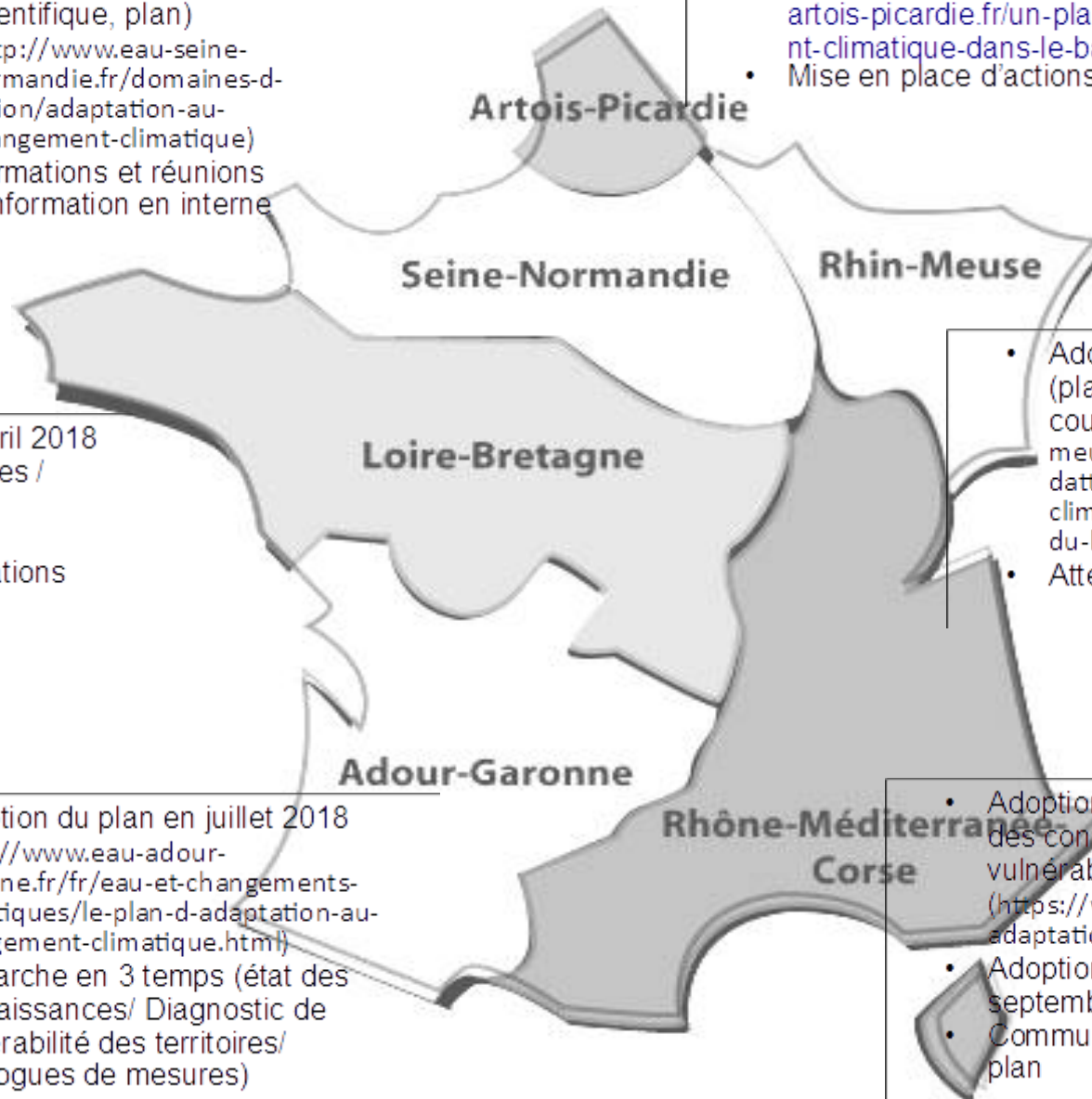
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE

Les SDAGE

- Adoption de la stratégie en déc 2016 (diagnostic scientifique, plan) (<http://www.eau-seine-normandie.fr/domaines-d-action/adaptation-au-changement-climatique>)
- Formations et réunions d'information en interne

- Publication novembre 2016 (Etat des connaissances, plan) (<http://www.eau-artois-picardie.fr/un-plan-pour-sadapter-au-changement-climatique-dans-le-bassin>)
- Mise en place d'actions de sensibilisation



- Adoption du plan en avril 2018 (bilan des connaissances / Diagnostic de vulnérabilité/plan)
- Mise en place de formations internes
- Communication

- Adoption du plan en février 2018 (plan/analyse de vulnérabilité en cours) (<http://www.eau-rhin-meuse.fr/un-plan-dadaptation-et-dattenuation-au-changement-climatique-pour-les-ressources-en-eau-du-bassin>)
- Atténuation et adaptation

- Adoption du plan en juillet 2018 (<http://www.eau-adour-garonne.fr/fr/eau-et-changements-climatiques/le-plan-d-adaptation-au-changement-climatique.html>)
- Démarche en 3 temps (état des connaissances/ Diagnostic de vulnérabilité des territoires/ catalogues de mesures)

- Adoption du plan pour RM en 2014 (état des connaissances, analyse de vulnérabilité, plan) (https://www.eaurmc.fr/jcms/vmr_35758/fr/adaptation-au-changement-climatique)
- Adoption du plan pour la Corse en septembre 2018 (même méthodologie)
- Communication/accompagnement sur le plan



Les outils

Les outils de l'ADEME

(<https://www.ademe.fr/expertises/changement-climatique-energie/passer-a-laction/comment-sadapter-changement-climatique/publications-outils-collectivites-territoriales>) :

Les outils du CEREMA

(<https://www.cerema.fr/fr/activites/transition-energetique-climat/adaptation-au-changement-climatique>)

Centres de ressources pour l'adaptation au changement climatique

Données Eau : <https://www.eaufrance.fr/les-donnees-des-sites-eaufrance>

Données climatiques :

Climat HD : <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climathd>

DRIAS les futurs du climat : <http://www.drias-climat.fr/>



Le centre de ressources du PNACC-2

 Site en construction



Centre de ressources pour l'adaptation au changement climatique

Une plate-forme au service des territoires

L'adaptation

Thématiques

Ressources

Initiatives

Formation

Actualités

Votre profil

ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

concentrer et diffuser les **publications et initiatives** locales
des **acteurs engagés** dans l'adaptation au changement climatique

Commencer la visite

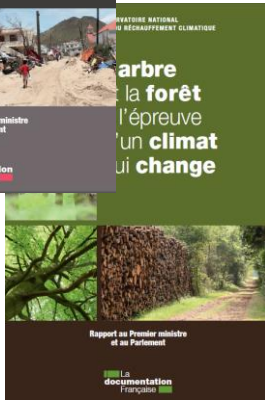


Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE

Les publications

Les rapports au Premier Ministre et au Parlement



Le volume 5 du rapport Le climat de la France au 21^{ème} siècle a été établi dans le cadre de la mission confiée au climatologue Jean Jouzel, en juillet 2010, par le ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie. Il présente les plus récentes connaissances sur l'évolution du niveau de la mer (passée et future), de l'échelle planétaire à celle de la France métropolitaine et d'outre-mer.

Le climat de la France au XXI^{ème} siècle



La lettre de l'ONERC aux élus



Les expositions itinérantes



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE

Quelques références

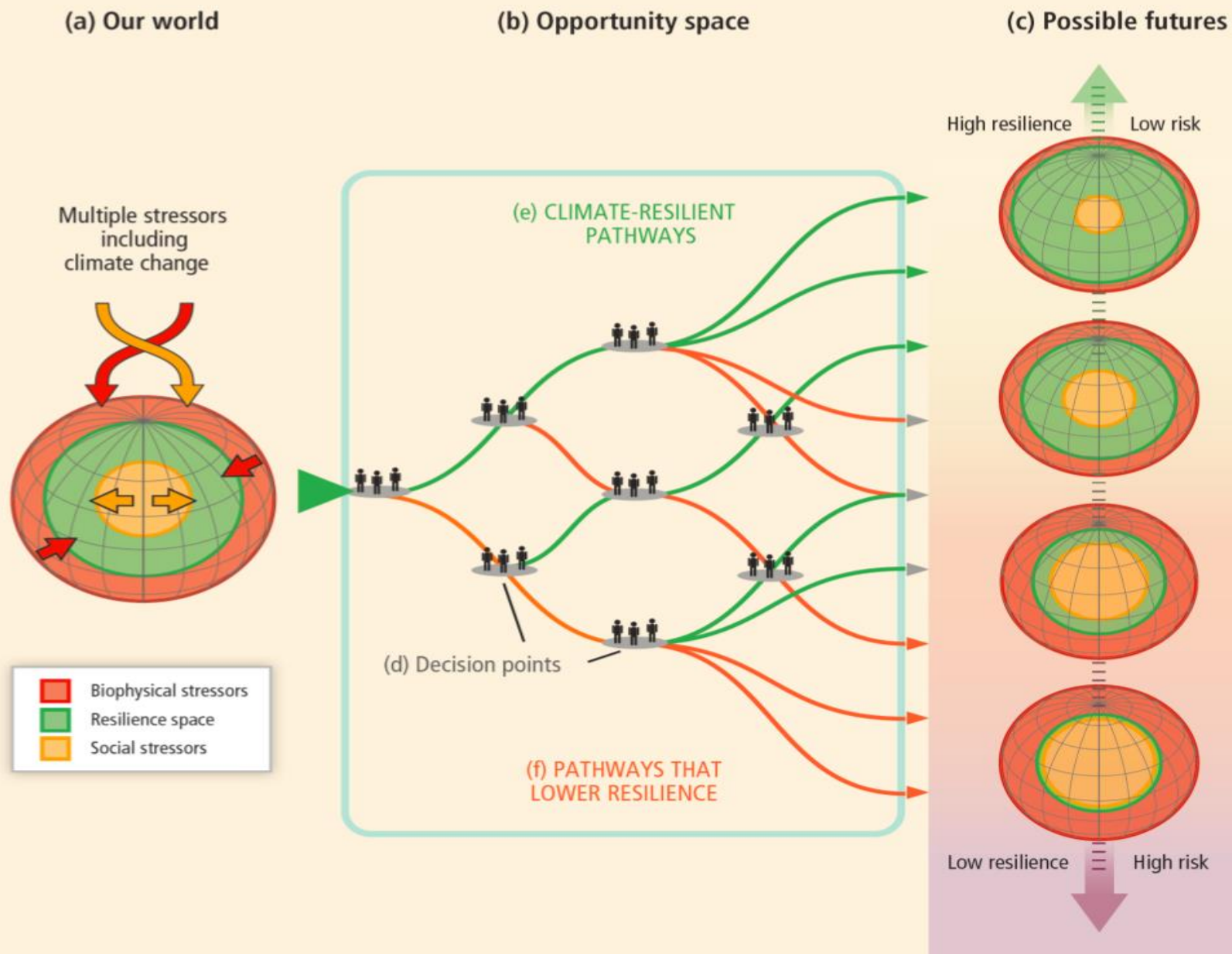


http://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/2018.12.20_PNACC2.pdf



http://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/2018.12.20_Comprendre_le_PNACC2_0.pdf

Les futurs possibles



DANKSCHEEN
 SHUKURIA
 TASHAKKUR ATU
 GRACIAS
 ARIGATO
 SHUKURIA
 GOZAIMASHITA
 EFCHARISTO
 JUSPAXAR
 YAQHANYELAY
 SUKSAMA
 EKHMET
 MEHRBANI
 PALDIES
 BOLZIN
 MERCI
 THANK
 YOU
 BIYAN
 SHUKRIA



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE



France Hydro Electricite

6 et 7 juin 2019
Saint-Etienne

CONFERENCE ENVIRONNEMENT

Changement climatique et cycle de l'eau,
quels impacts sur la biodiversité ?

M. Julien BOE

Climatologue, chercheur au CNRS



Centre National
de la Recherche
Scientifique

Avec le soutien de



Alexis Assurances

envinergy
CONSEIL & TRANSACTION



LE JOURNAL DES
ENERGIES
RENOUVELABLES

PUISSANCE
Le magazine de
l'hydroélectricité
HYDRO



CENTRE EUROPÉEN DE RECHERCHE ET DE FORMATION AVANCÉE EN **CALCUL SCIENTIFIQUE**



Impacts du changement climatique sur le cycle hydrologique en France

Julien Boé, CECI CNRS/CERFACS

11^{ème} rencontres France Hydro Electricité, 7 juin 2019, Saint Etienne

5^{ème} rapport du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (2013)

- ✓ « Le **réchauffement du système climatique est sans équivoque** et, depuis les années 1950, beaucoup de changements observés sont **sans précédent depuis des décennies voire des millénaires**. L'atmosphère et l'océan se sont réchauffés, la couverture de neige et de glace a diminué, le niveau des mers s'est élevé et les concentrations des gaz à effet de serre ont augmenté. »
- ✓ « On **détecte l'influence des activités humaines dans le réchauffement** de l'atmosphère et de l'océan, **dans les changements du cycle global de l'eau**, dans le recul des neiges et des glaces, dans l'élévation du niveau moyen mondial des mers et dans la modification de certains extrêmes climatiques. On a gagné en certitude à ce sujet depuis le quatrième Rapport d'évaluation. **Il est extrêmement probable que l'influence de l'homme est la cause principale du réchauffement observé depuis le milieu du XXe siècle.** »

1. Démarche scientifique

Equations fondamentales de la physique

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{-\nabla p}{\rho} - 2\vec{\Omega} \wedge \vec{V} + \vec{g} + \vec{F}$$

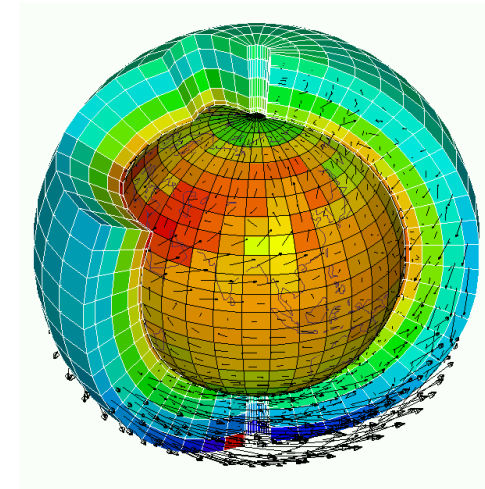
$$C_p \frac{dT}{dt} = \frac{RT}{p} \frac{dp}{dt} + Q$$

$$\frac{dp}{dt} = -\rho \nabla \vec{V}$$

$$\frac{dq}{dt} = Q'$$

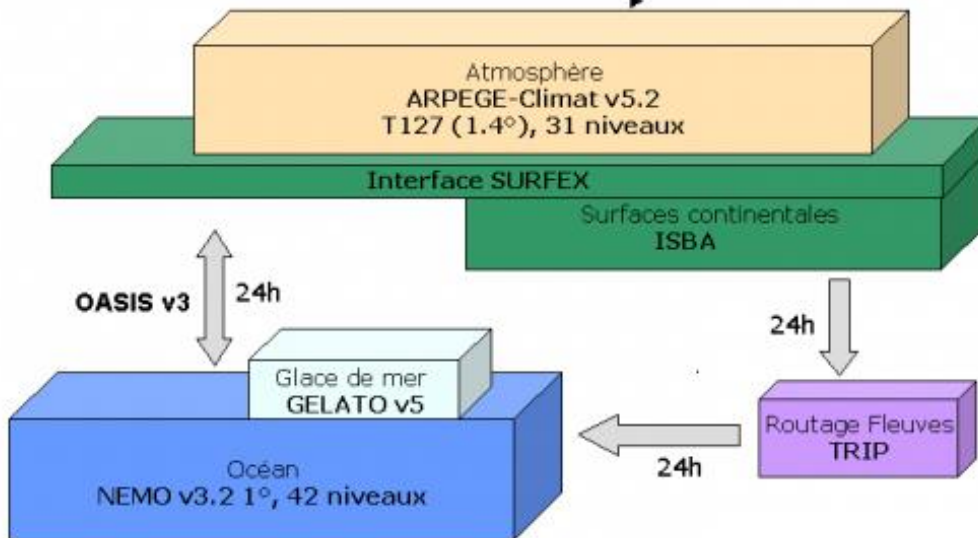
Découpage en maille

Découpage en temps



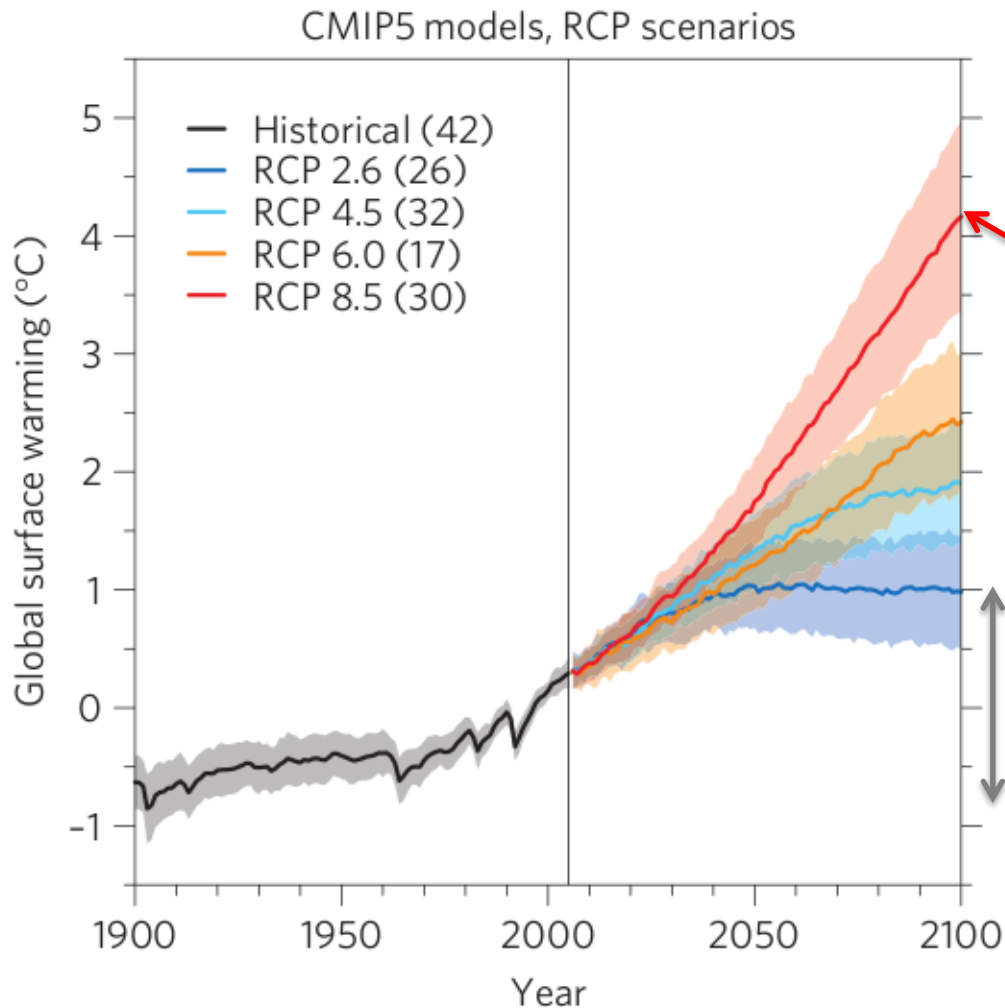
- ✓ Evolution passée
- ✓ Scénarios futurs (CO₂, CH₄ etc.)

=> Expériences numériques



Exemple du modèle climatique global CNRM-CM5

Scénarios d'émission et réchauffement



Simulations coordonnées, base des rapports du GIEC

- ✓ Plusieurs modèles climatiques
- ✓ Plusieurs scénarios RCP => pas de probabilité associée

«Business-as-usual»

Proche des objectifs des Accords de Paris 2015

≈2°C

Knutti and Sedlacek 2012

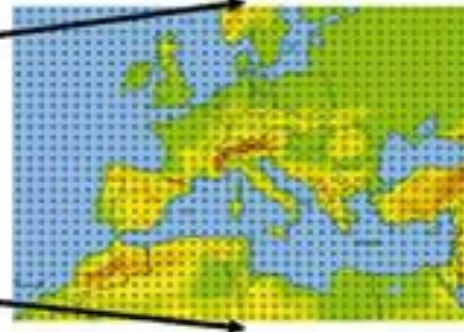
Evolution simulée de la température globale (anomalie par rapport à 1986-2005)

Modèle climatique global



Mailles: 150-250 km

Régionalisation

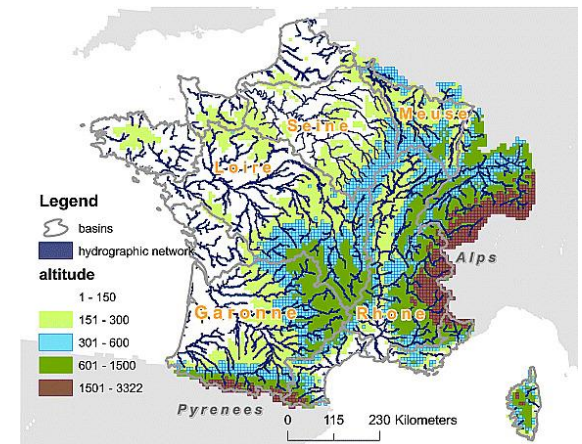


Modèle climatique régional

Mailles: 10-50 km

Précipitations, Température,
(Rayonnement, Vent etc.)

Modèle hydrologique

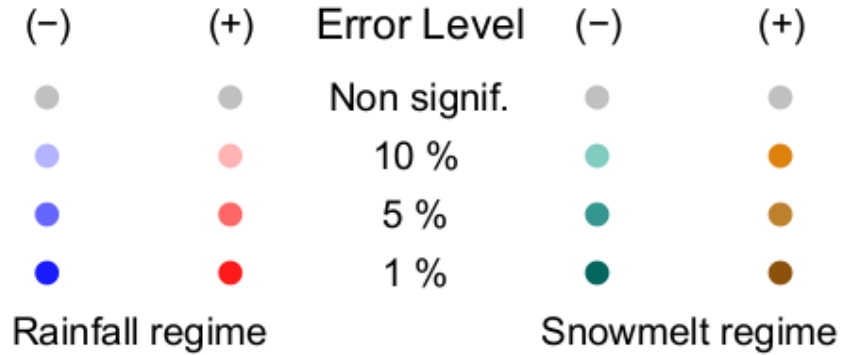
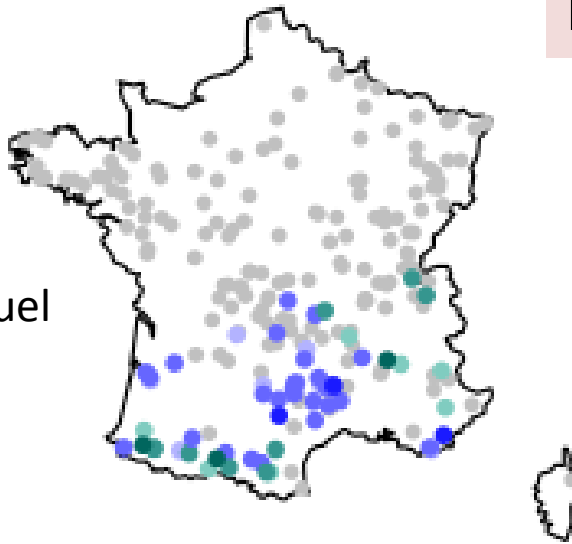


Ici, modèle ISBA (Météo-France)
/ Modcou (Mines ParisTech) *Habets et al. (2008)*

2. Evolution passée

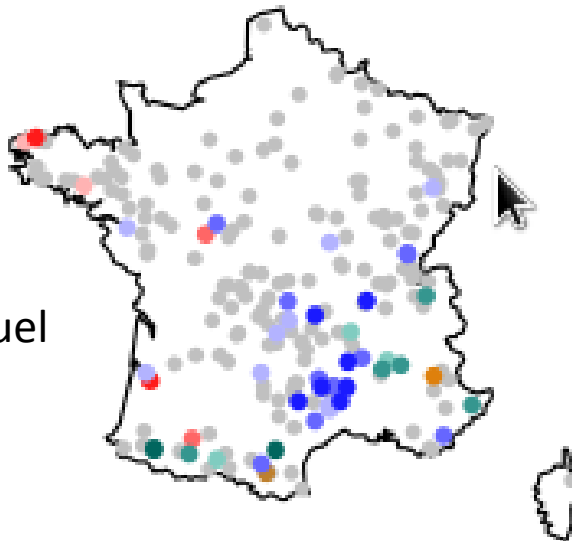
Evolution observée des débits

Débit annuel moyen



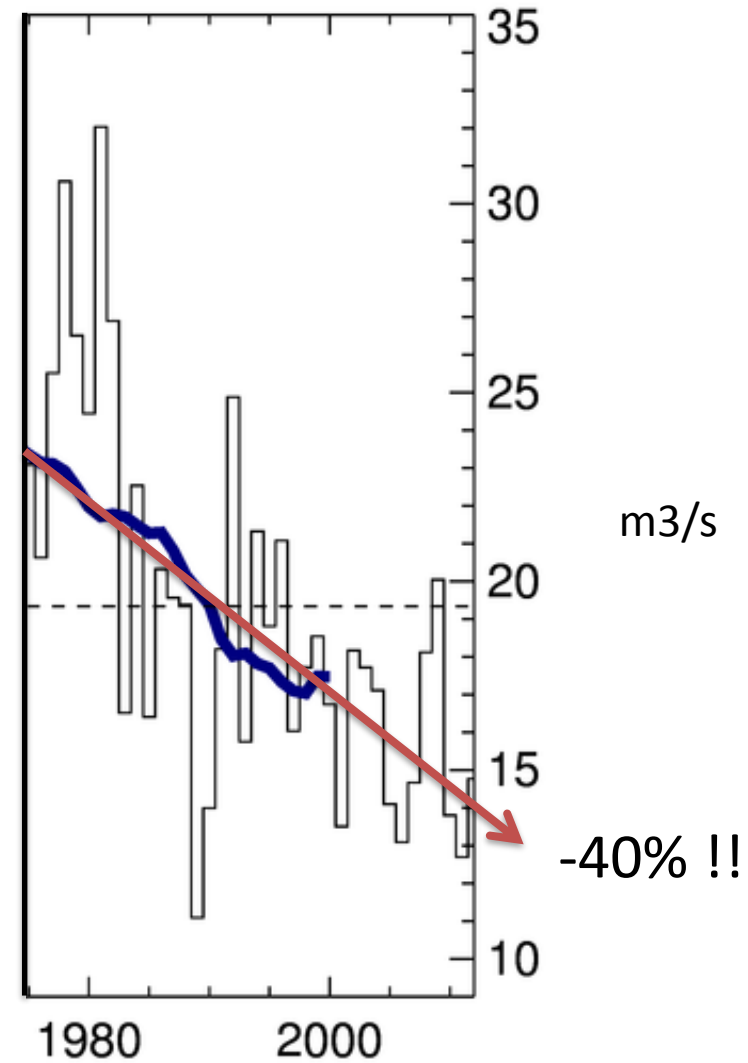
Tendances sur 1968-2006

Débit annuel minimal



- ✓ Diminution des débits sur le sud de la France
- ✓ Lien avec le changement climatique? On ne sait pas vraiment aujourd'hui

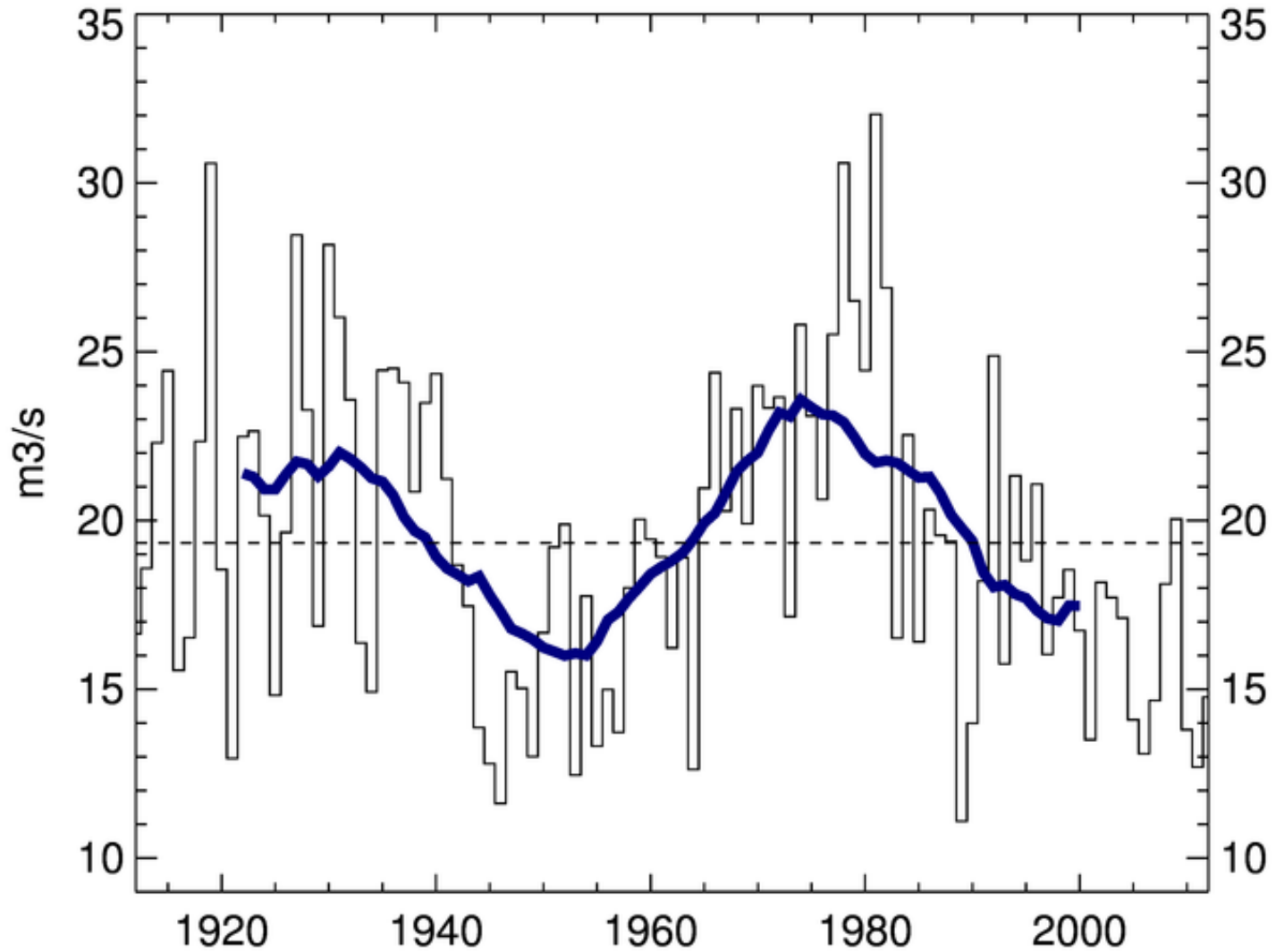
Evolution à plus long terme?



Débits Gave d'Ossau à Oloron-Sainte-Marie

Lignes épaisses: séries lissées.

Evolution à plus long terme



Débits Gave d'Ossau à Oloron-Sainte-Marie

Lignes épaisses: séries lissées.

Boé et Habets 2014

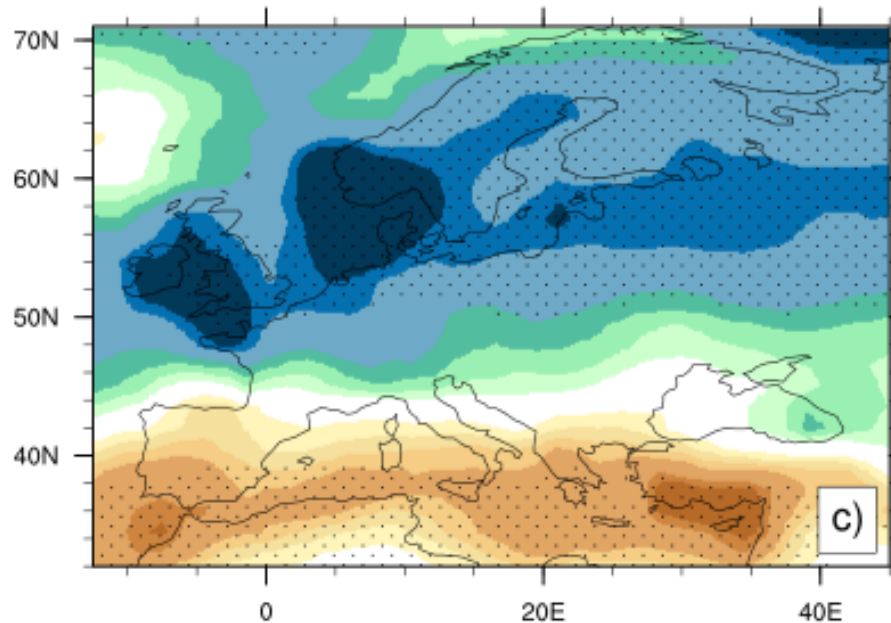
3. Projections

Principaux mécanismes des changements hydrologiques sur la France

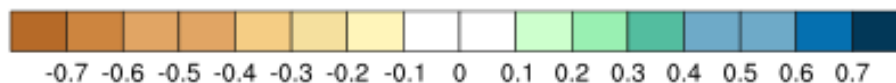
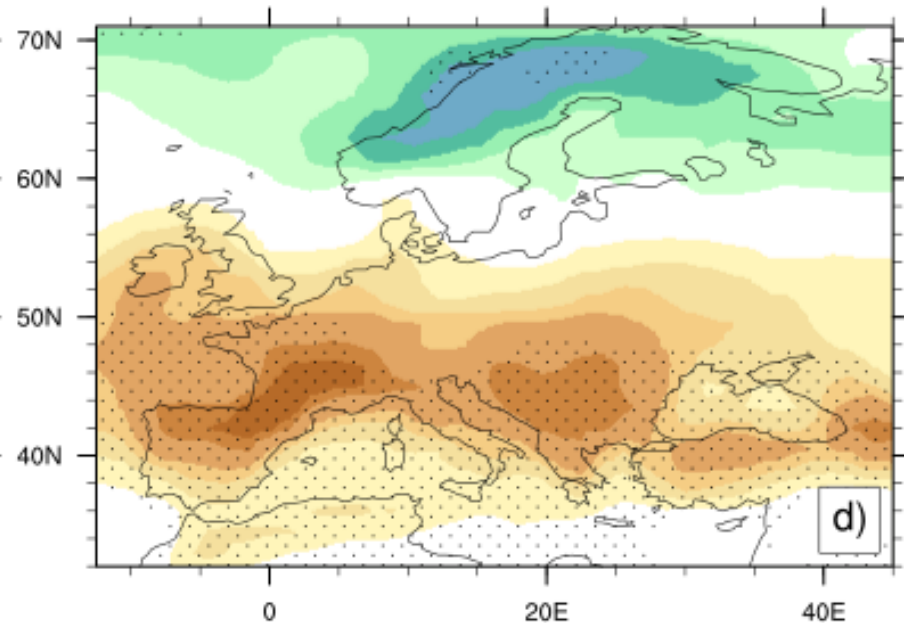
- ✓ Changement des précipitations
- ✓ Augmentation de l'évapotranspiration en hiver / printemps
- ✓ Diminution du ratio précipitations solides / précipitations liquides
- ✓ Fonte plus précoce du manteau neigeux

Changement des précipitations

Hiver



Eté



scénario RCP8.5

2070-2099

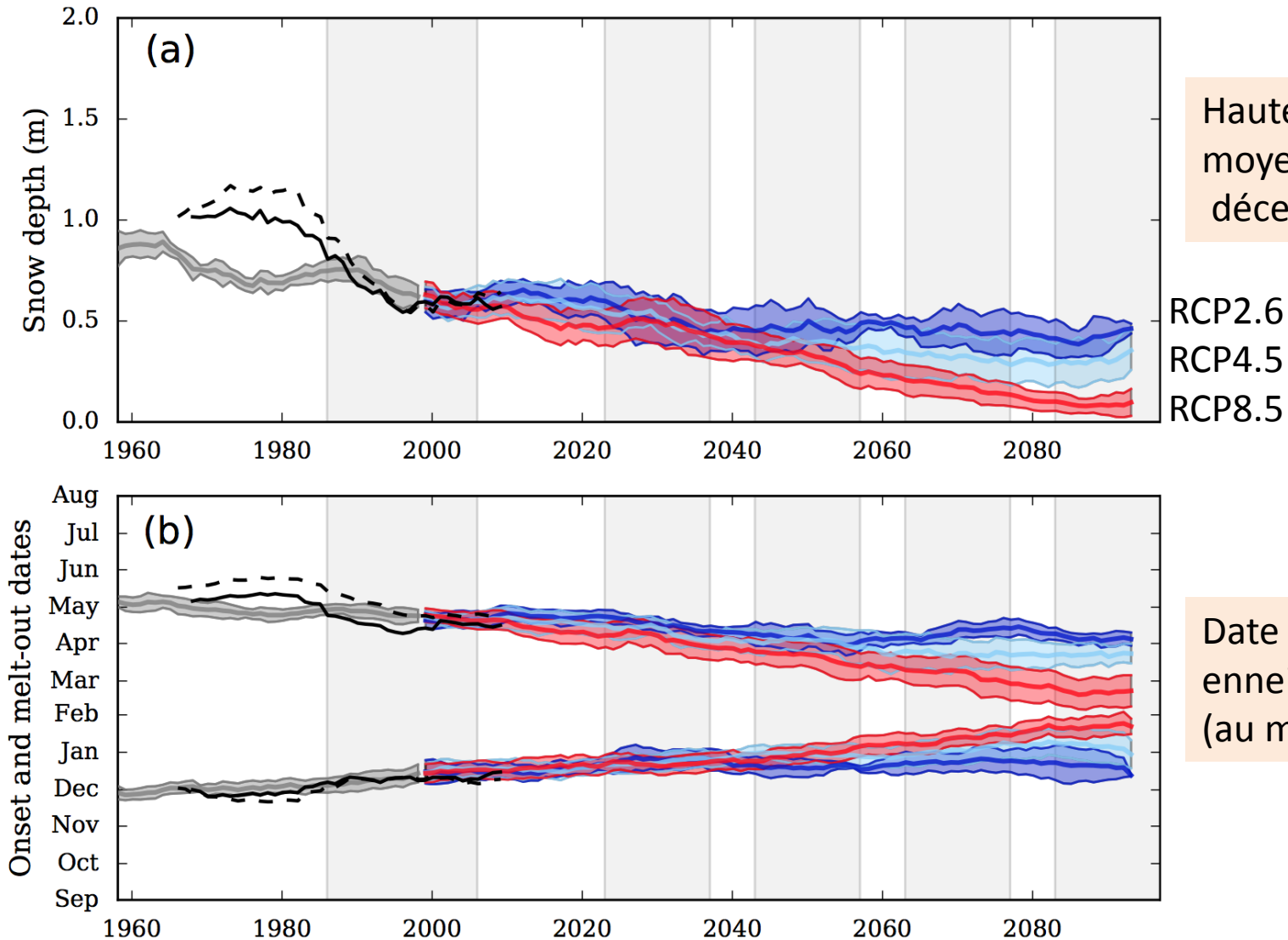
Terray et Boé 2013

Changement multi-modèle saisonnier des **précipitations (mm/jour)**.

Points: diminution ou augmentation supérieure à 20%

Evolution du manteau neigeux

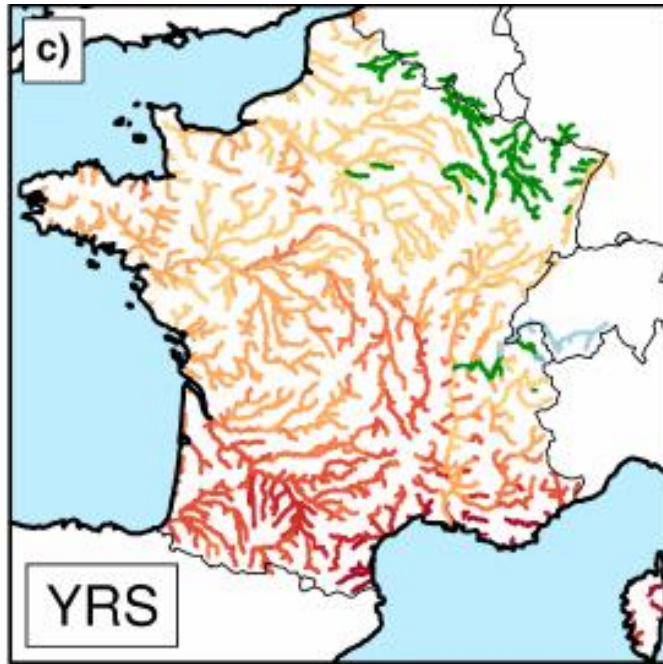
Chartreuse (Alpes),
1500m



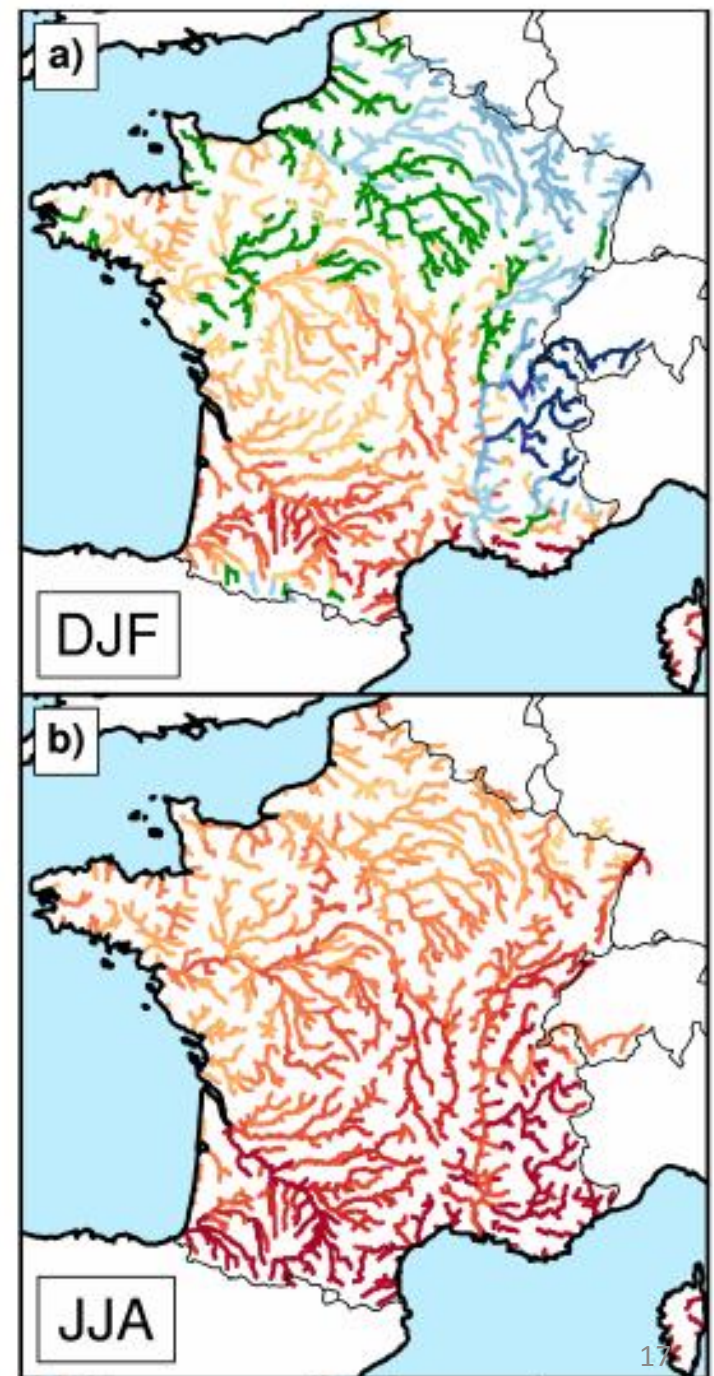
Verfaillie et al. 2018

Changements des débits

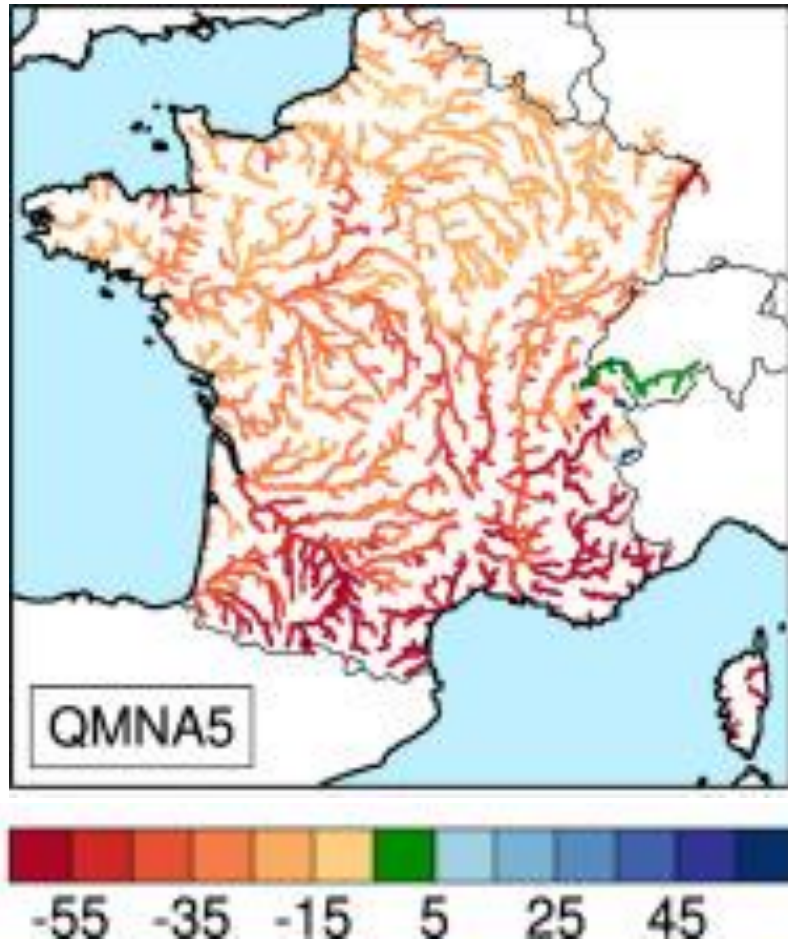
scénario RCP8.5



Changement relatif multi-modèle
2070/2100 moins 1960/1990

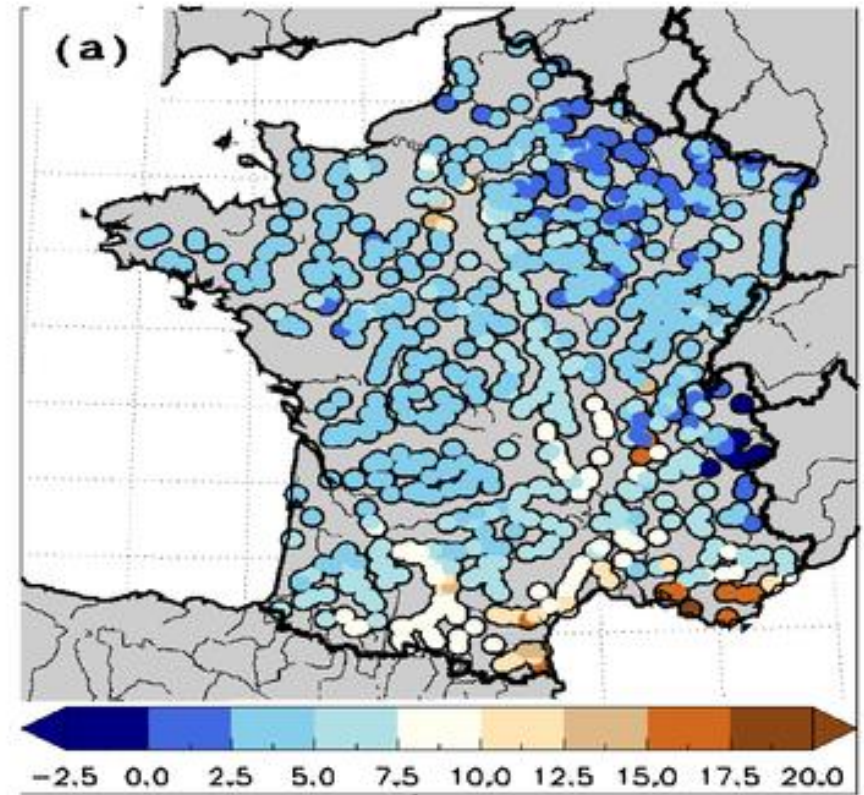


Evolution des sécheresses



Changement relatif (%) du QMNA5 2070-2100 moins 1961-1990

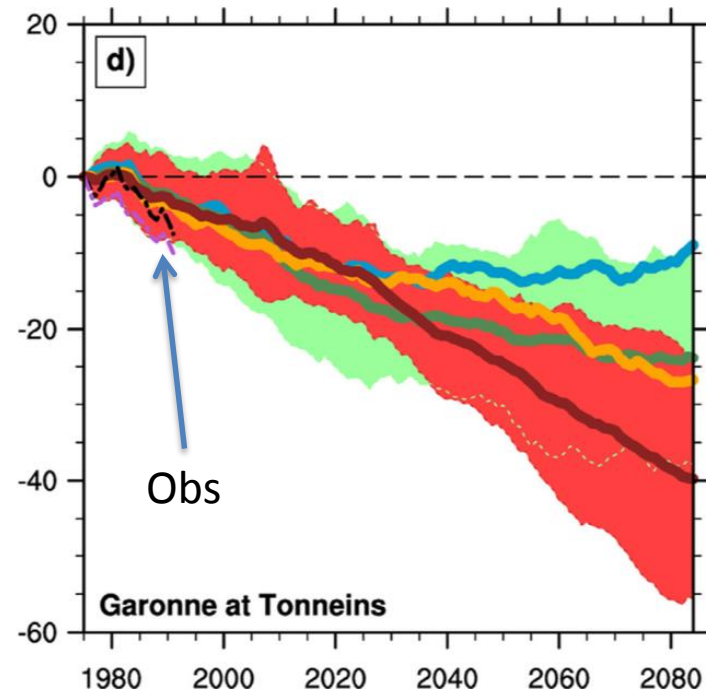
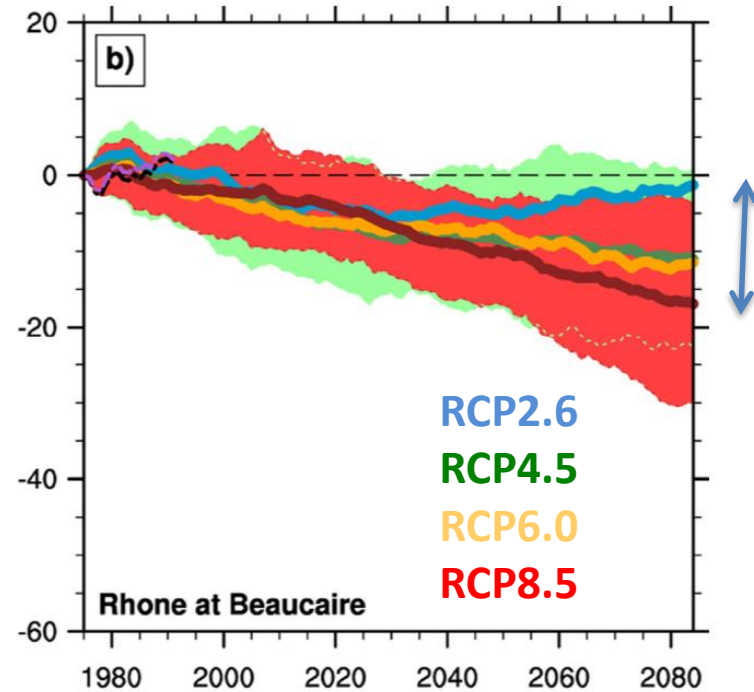
scénario RCP8.5



Changement du pourcentage de temps (%) passé en sécheresse hydrologique 2031-2060 moins 1961-1990
Basé sur VCN3 période de retour 5 ans

Impact du scénario d'émission: atténuation

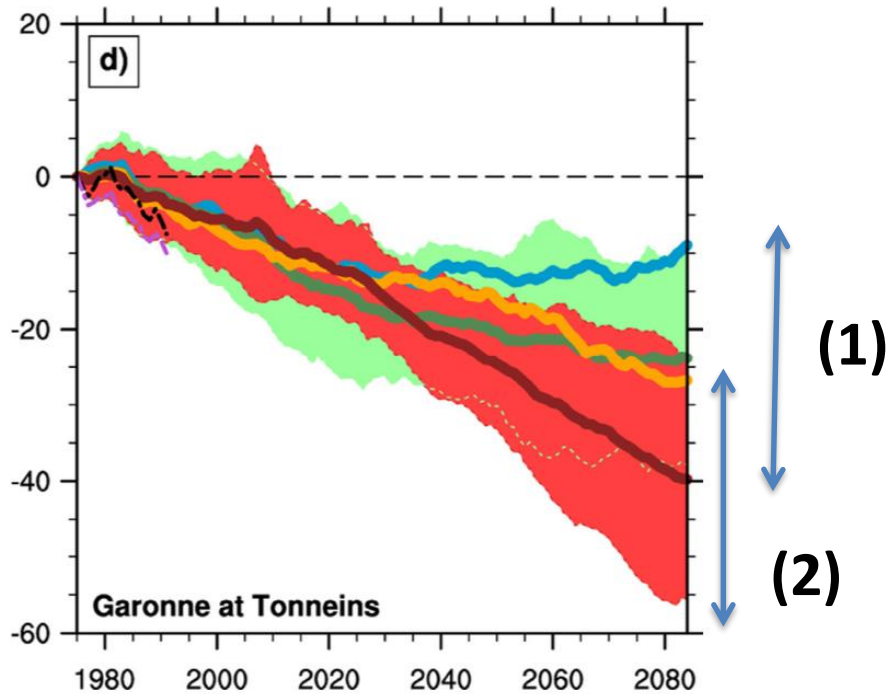
Impact du scénario d'émission



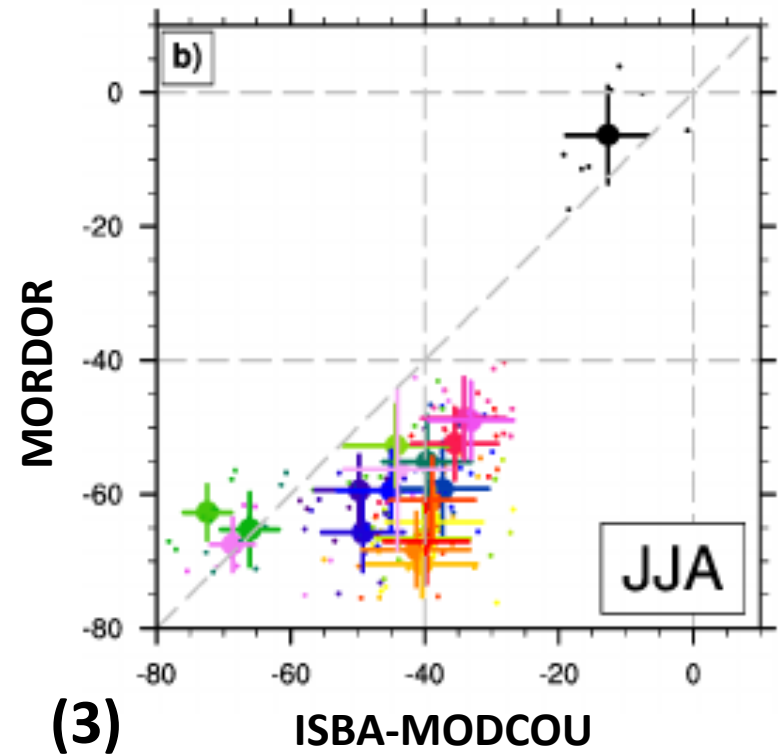
Evolution des débits annuels (%) par rapport à la période 1960-1990

Impact du scénario d'émission

Différentes incertitudes



Evolution des débits annuels (%)
par rapport à la période 1960-1990



Comparaison des changements (%)
en été à la fin du 21^{ème} siècle pour
deux modèles hydrologiques

(1) Incertitudes dues au **scénario d'émission** => choix collectifs, évolution de la société

(2) Incertitudes **climatiques**:

modélisation => réductibles: progrès scientifique

variabilité interne naturelle => irréductibles à longue échéance

(3) Incertitudes dues à la **modélisation hydrologique** => réductibles: progrès scientifique

- Impacts importants attendus sur le cycle hydrologique en France sans infléchissement majeur des émissions de gaz à effet de serre. Notamment:
 - ⇒ diminution des débits, notamment en été, augmentation de la fréquence et de la sévérité des sécheresses
- Incertitudes importantes d'un point de vue quantitatif; une part importante dépend de l'évolution de la société
- Ici: uniquement impacts du climat. D'autres impacts potentiels: gestion des barrages, pompages pour irrigation (augmentation des besoins?), changements d'utilisation des sols etc.

CONFERENCE ENVIRONNEMENT

Changement climatique et cycle de l'eau,
quels impacts sur la biodiversité ?

M. Jean-Michel OLIVIER

Ingénieur de recherche au CNRS



Centre National
de la Recherche
Scientifique

Avec le soutien de



Alexis Assurances

envinergy
CONSEIL & TRANSACTION



LE JOURNAL DES
ENERGIES
RENOUVELABLES

PUISSANCE
Le magazine de
l'hydroélectricité
HYDRO

Table ronde - 7/06/2019

Changement climatique et cycle de l'eau, quels impacts sur la biodiversité?

Jean-Michel Olivier
UMR CNRS 5023
Université Lyon1



Université Claude Bernard

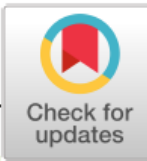


Lyon 1



6 & 7 JUIN 2019

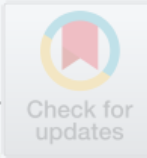
Saint-Etienne

**OVERVIEW**

Climate change vulnerability assessment of species

Wendy B. Foden^{1,2} | Bruce E. Young^{2,3} | H. Resit Akçakaya^{2,4} | Raquel A. Garcia^{2,5} |
Ary A. Hoffmann⁶ | Bruce A. Stein^{2,7} | Chris D. Thomas⁸ | Christopher J. Wheatley^{2,8} |
David Bickford⁹ | Jamie A. Carr^{2,10} | David G. Hole¹¹ | Tara G. Martin^{2,12} |
Michela Pacifici^{2,13} | James W. Pearce-Higgins^{14,15} | Philip J. Platts^{2,16} | Piero Visconti¹⁷ |
James E. M. Watson^{18,19} | Brian Huntley^{2,20}

Arrhenius (1896) => mid-1990s

OVERVIEW

Climate change vulnerability assessment of species

Wendy B. Foden^{1,2} | Bruce E. Young^{2,3} | H. Resit Akçakaya^{2,4} | Raquel A. Garcia^{2,5} |
Ary A. Hoffmann⁶ | Bruce A. Stein^{2,7} | Chris D. Thomas⁸ | Christopher J. Wheatley^{2,8} |
David Bickford⁹ | Jamie A. Carr^{2,10} | David G. Hole¹¹ | Tara G. Martin^{2,12} |
Michela Pacifici^{2,13} | James W. Pearce-Higgins^{14,15} | Philip J. Platts^{2,16} | Piero Visconti¹⁷ |
James E. M. Watson^{18,19} | Brian Huntley^{2,20}

Importance croissante des études portant sur l'impact du changement climatique sur les espèces :

- **Comment ?**
- **Combien ?**
- **Pourquoi ?**
- **Quand ?**
- **Où ?**

Arrhenius (1896) => mid-1990s

Assessing species vulnerability to climate change

Michela Pacifici *et al.*[†]

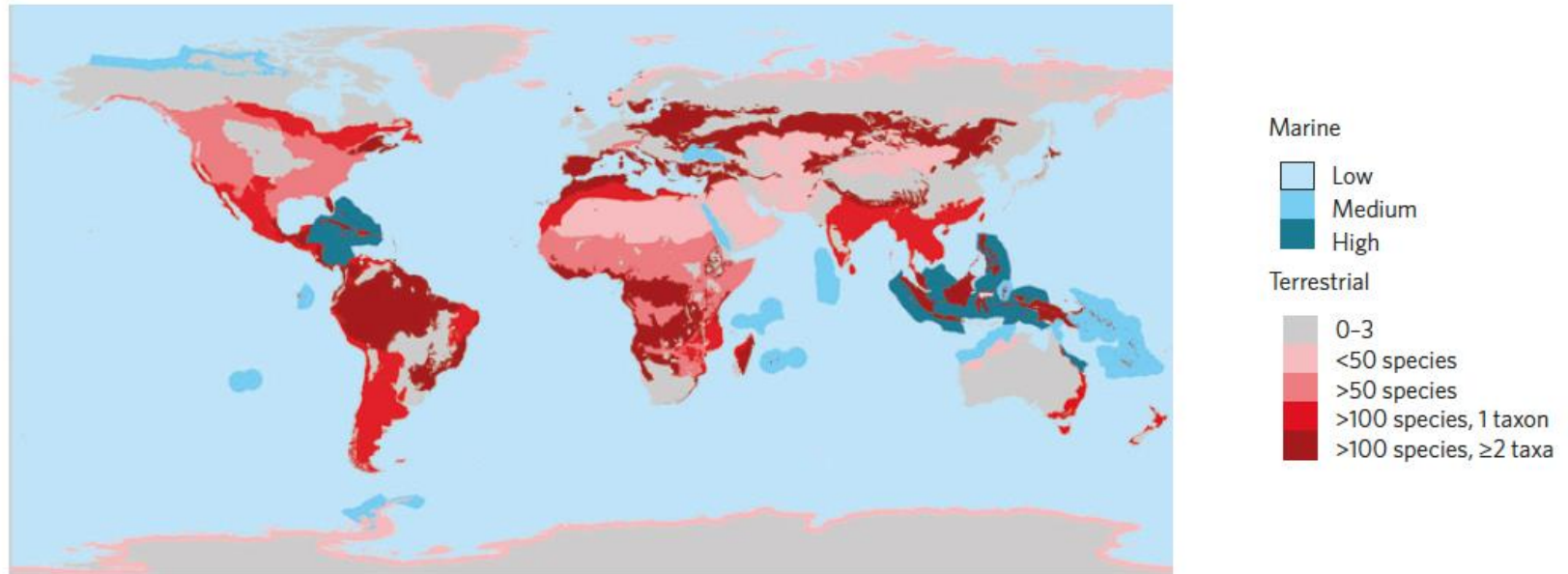
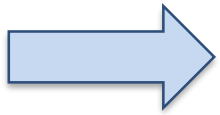


Figure 2 | Ecoregional global concentrations of terrestrial and marine climate change vulnerable species. Studies conducted at regional, continental and global scales were used to derive a global map of vulnerability, according to an ecoregional classification. Terrestrial areas with high numbers of vulnerable species were identified on the basis of the number of species assessed and the taxonomic ranks higher than species considered.

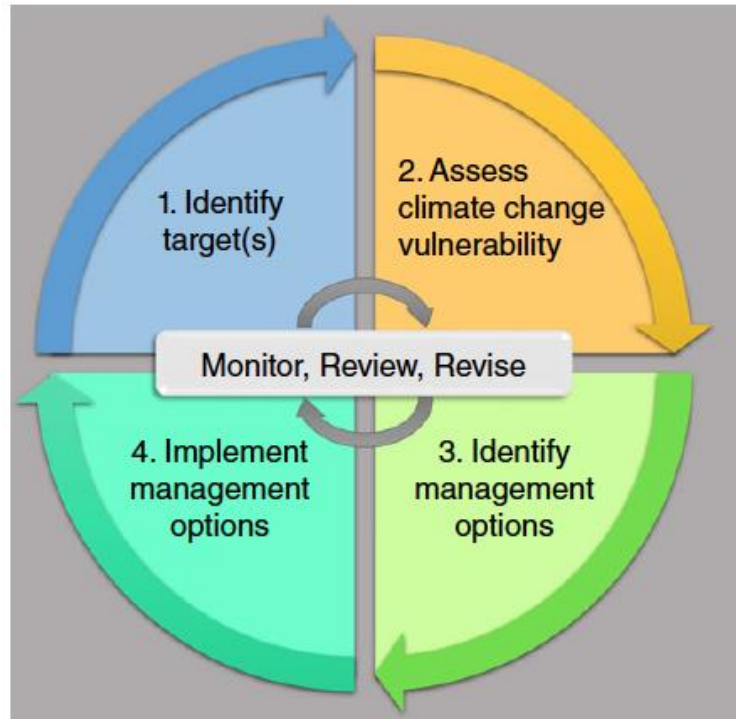
- Plantes & animaux
- La plupart des écosystèmes sous toutes les latitudes : polaires, tempérés, subtropicales, tropicales

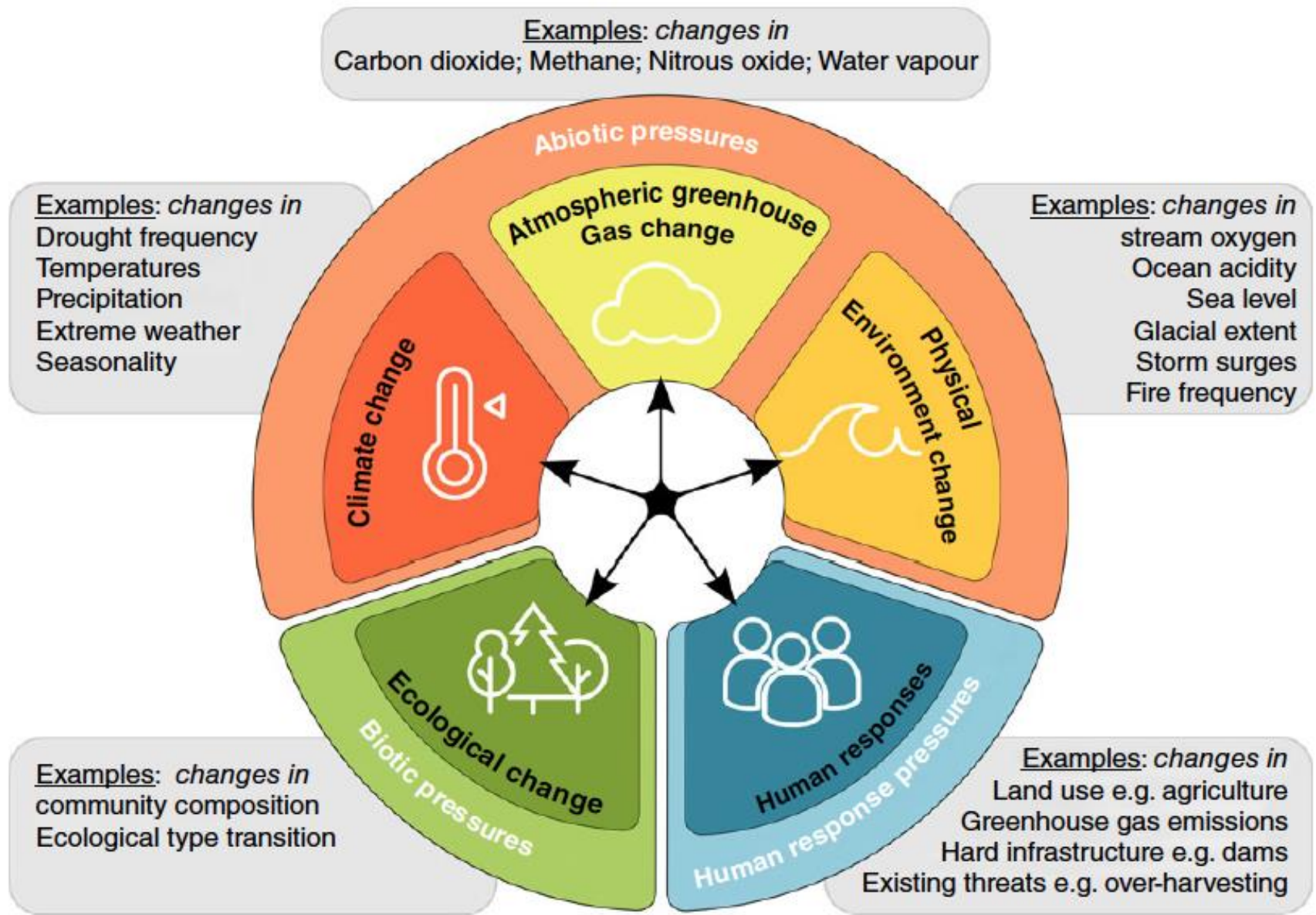
Evaluer la **vulnérabilité** des espèces au **changement climatique** :

- Que savons-nous (événements passés en lien avec le changement climatique) ?
- Que risque-t-il d'arriver dans le futur (+ 2°C) + événements extrêmes + variabilité climatique ?



Optimisation des **principes de conservation** et des **pratiques** pour réduire l'impact du changement climatique sur la biodiversité



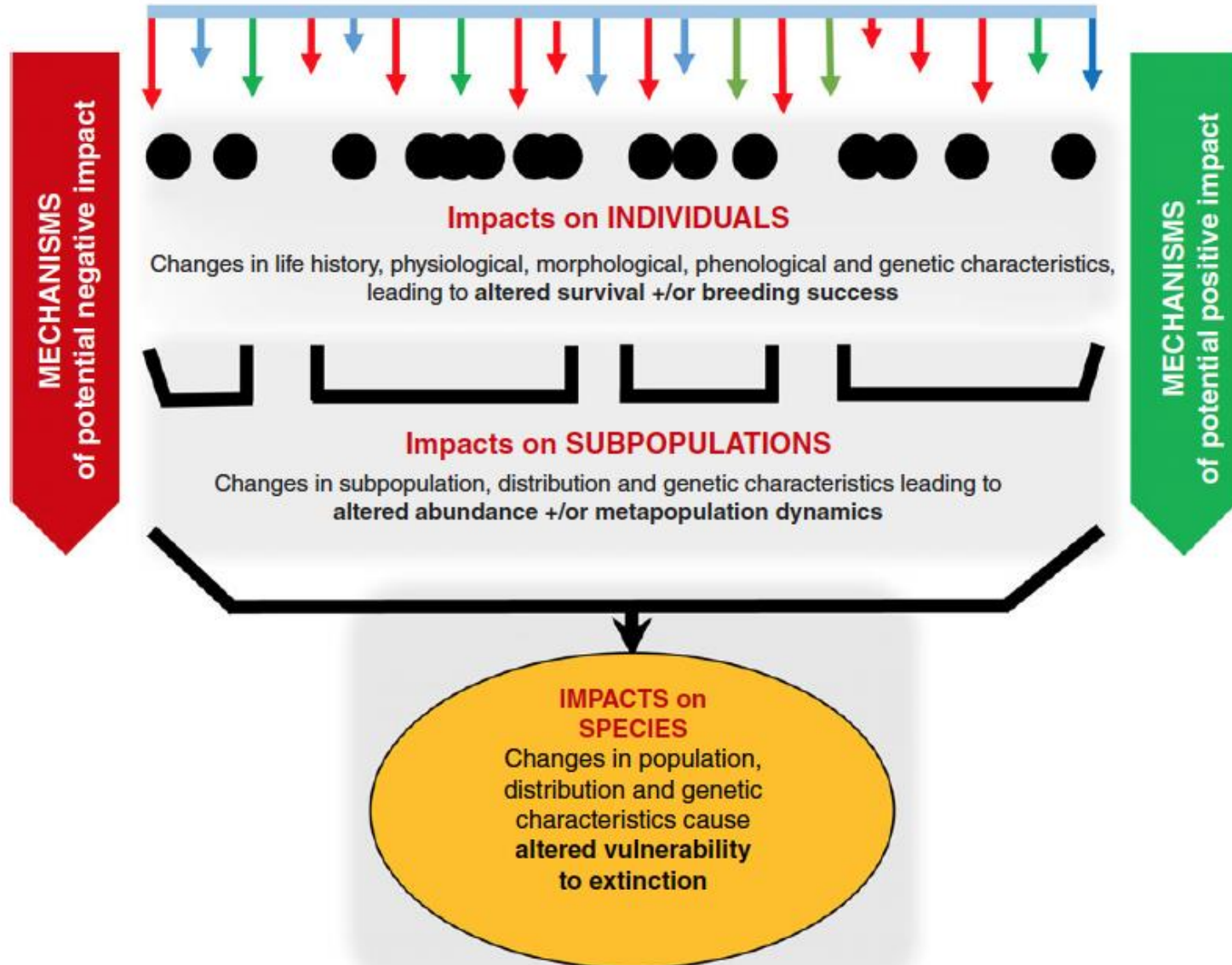


Climate change-related pressures on species, showing those originating from abiotic, biotic and human response causes

CLIMATE CHANGE PRESSURES



Operate inconsistently across a species' range



Vulnérabilité et risque



Le **risque** lié à des impacts climatiques résulte de l'interaction entre :

- des **risques** liés au **climat**
- la **vulnérabilité** des systèmes naturels
- leur **exposition**

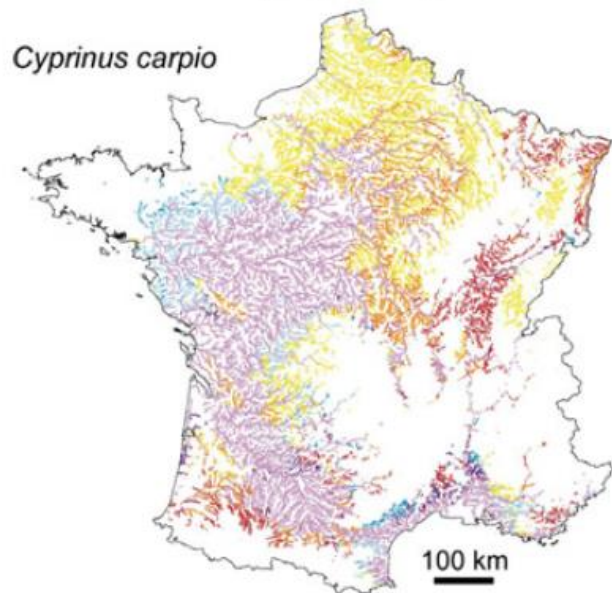
Vulnérabilité : degré avec lequel un système ou une espèce est susceptible, ou incapable de faire face aux effets défavorables des événements climatiques. Elle évolue en fonction du caractère, de l'importance (amplitude, fréquence...) des **changements** liés au climat auxquels l'espèce est exposée, de sa **sensibilité**, de sa **capacité adaptative**.

Sensibilité : représente le degré avec lequel une espèce est affectée (positivement ou négativement) par la variabilité ou le changement liés au climat.

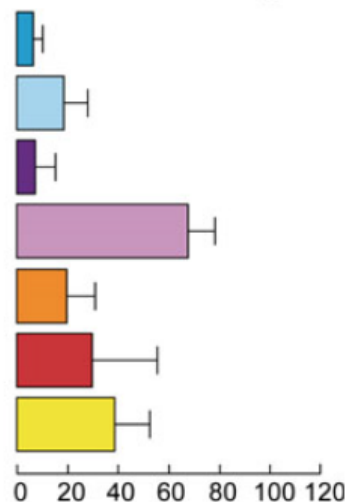
- **habitat ou micro-habitat très spécialisés,**
- **variables environnementales** liées au climat **dépassant** potentiellement les **limites de tolérance** (seuils) des espèces,

Geographical space

1980-1992 → 2003-2009



% of size of the historical range



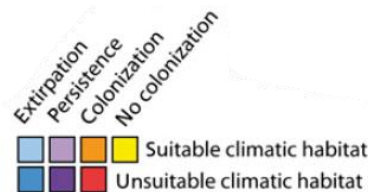
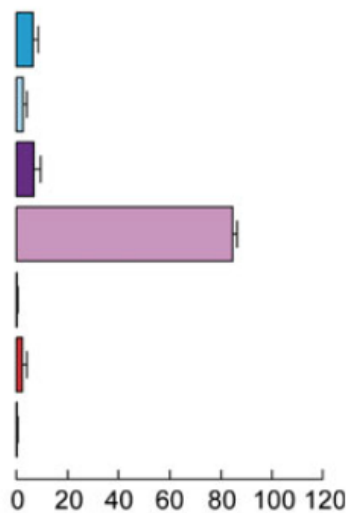
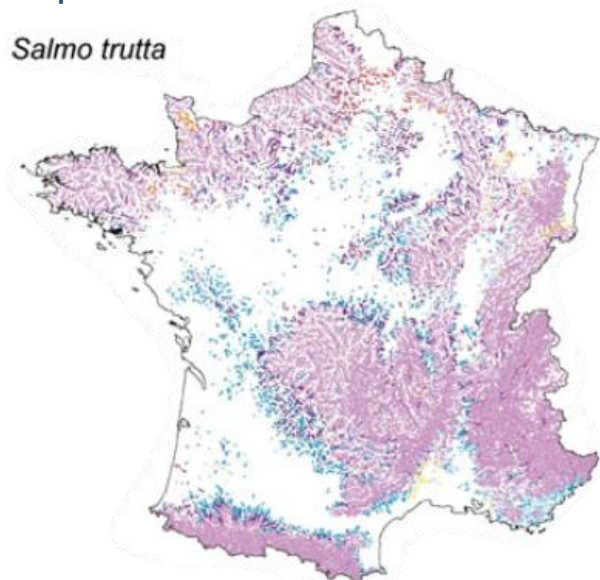
Les espèces montrent :

- Une faible capacité à **persister** lors d'une courte période de conditions climatiques défavorables
- Une capacité limitée de '**dispenser**' vers des habitats favorables 'nouveaux'

=> **vulnérabilité** des espèces

=> problème de **connectivité** entre les habitats favorables (fragmentation, réseaux, corridors)

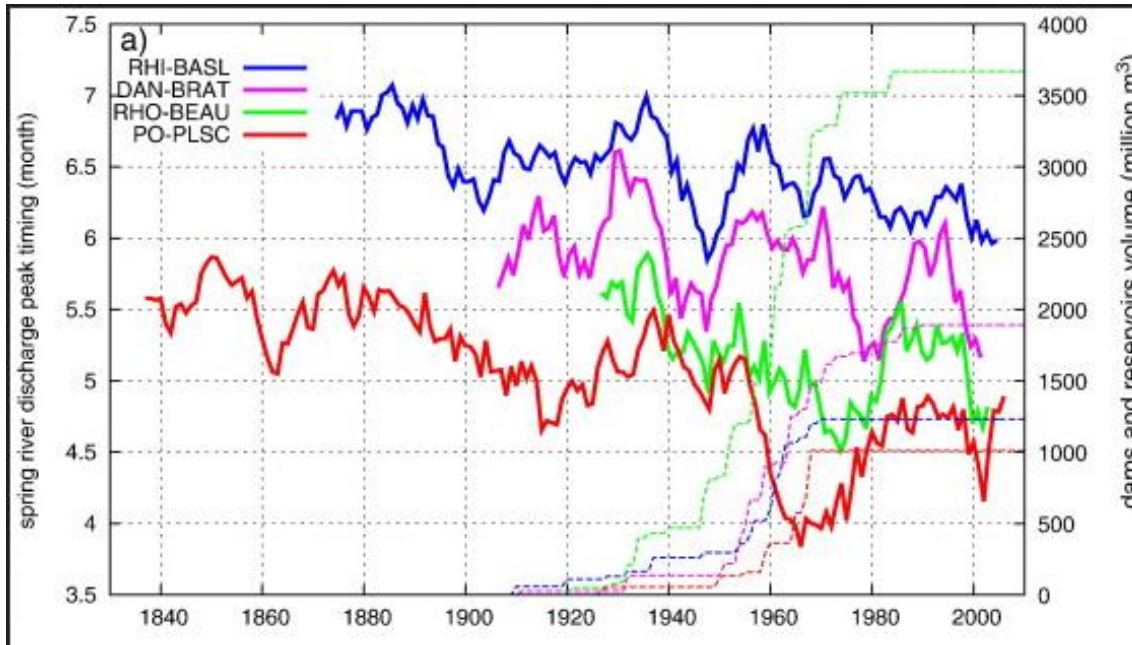
Patterns de réponses géographiques complexes



Sensibilité : représente le degré avec lequel une espèce est affectée (positivement ou négativement) par la variabilité ou le changement liés au climat.

- **habitat ou micro-habitat très spécialisés,**
- **variables environnementales** liées au climat **dépassant** potentiellement les **limites de tolérance** (seuils) des espèces,
- **dépendance de facteurs environnementaux « déclencheurs »** qui peuvent être perturbés par des changements liés au climat (migration, reproduction etc...),

Débits



Zampieri *et al.* (2015)
Observed shift towards
earlier spring discharge in
the main Alpine rivers.
*Science of the Total
Environment* 503–504: 222–
232.

Augmentation des débit printaniers plus précoce :

- plus de 2 semaines/siècle pour les bassins au nord des Alpes (Rhin et Danube)
- Plus de trois semaines/siècle pour les bassins situés au sud (Rhône et Pô).

Température

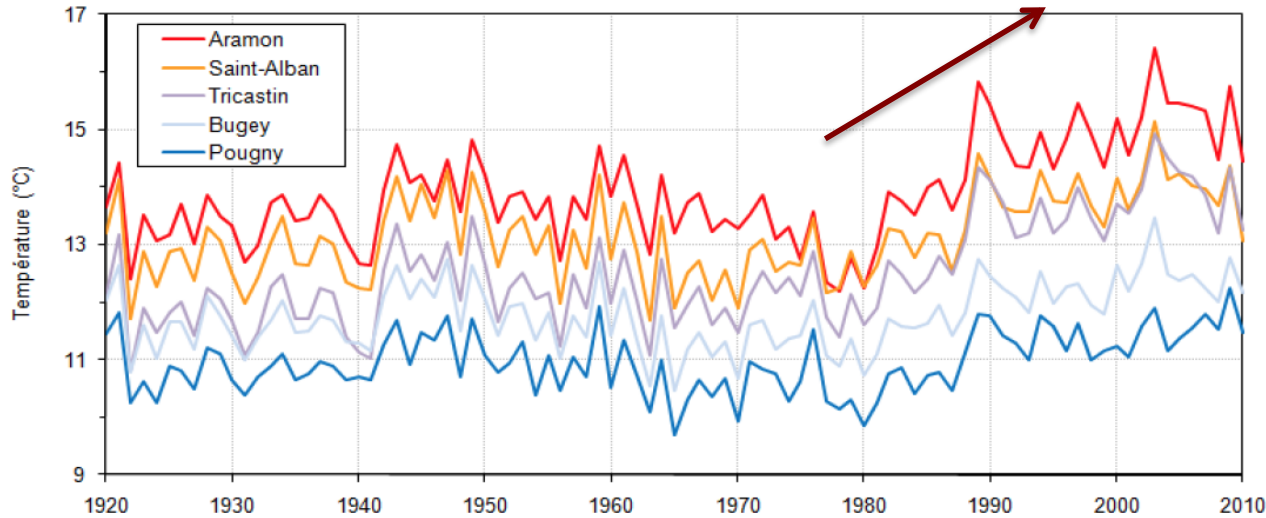


Figure 14. Séries reconstituées des températures de l'eau du Rhône entre 1920 et 2010 (moyenne annuelles)

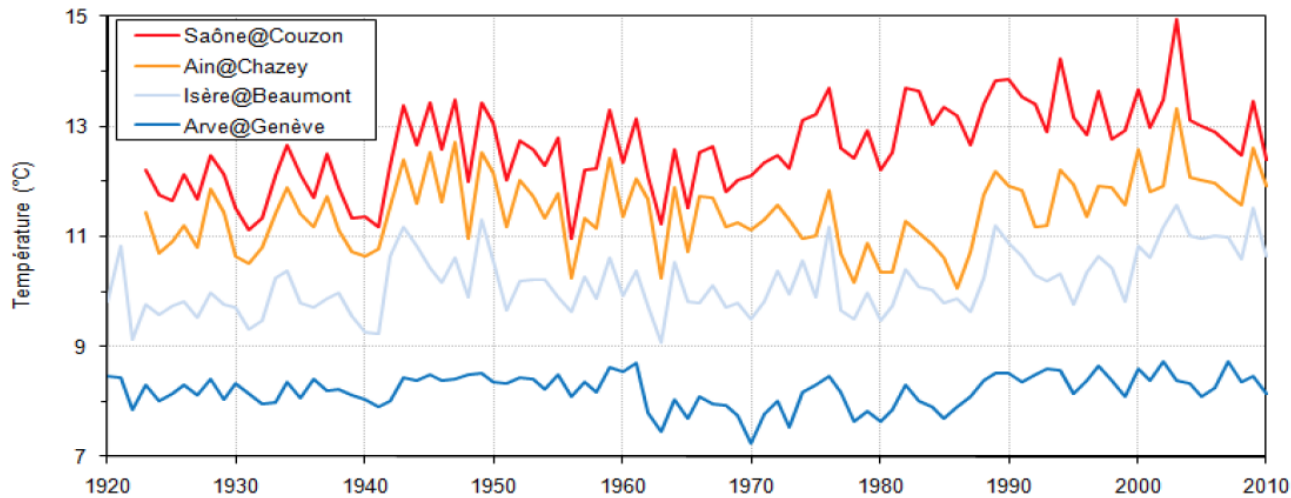


Figure 15. Séries reconstituées des températures de l'eau des principaux affluents du Rhône entre 1920 et 2010 (moyenne annuelles)

DUVERT, C., LANGLAIS, S.,
ORIOU, E., POIREL, A. &
PERRET, C. (2014): Etude
Thermique du Rhône - Phase IV.
Lot 5 - Relations entre hydrologie
et thermie du Rhône. eDF,
Direction Production Ingénierie,
Division Production Ingénierie
Hydraulique, DTG, Département
Surveillance - Environnement
Aquatique, Grenoble, 117 p.

Température (°C)

Température

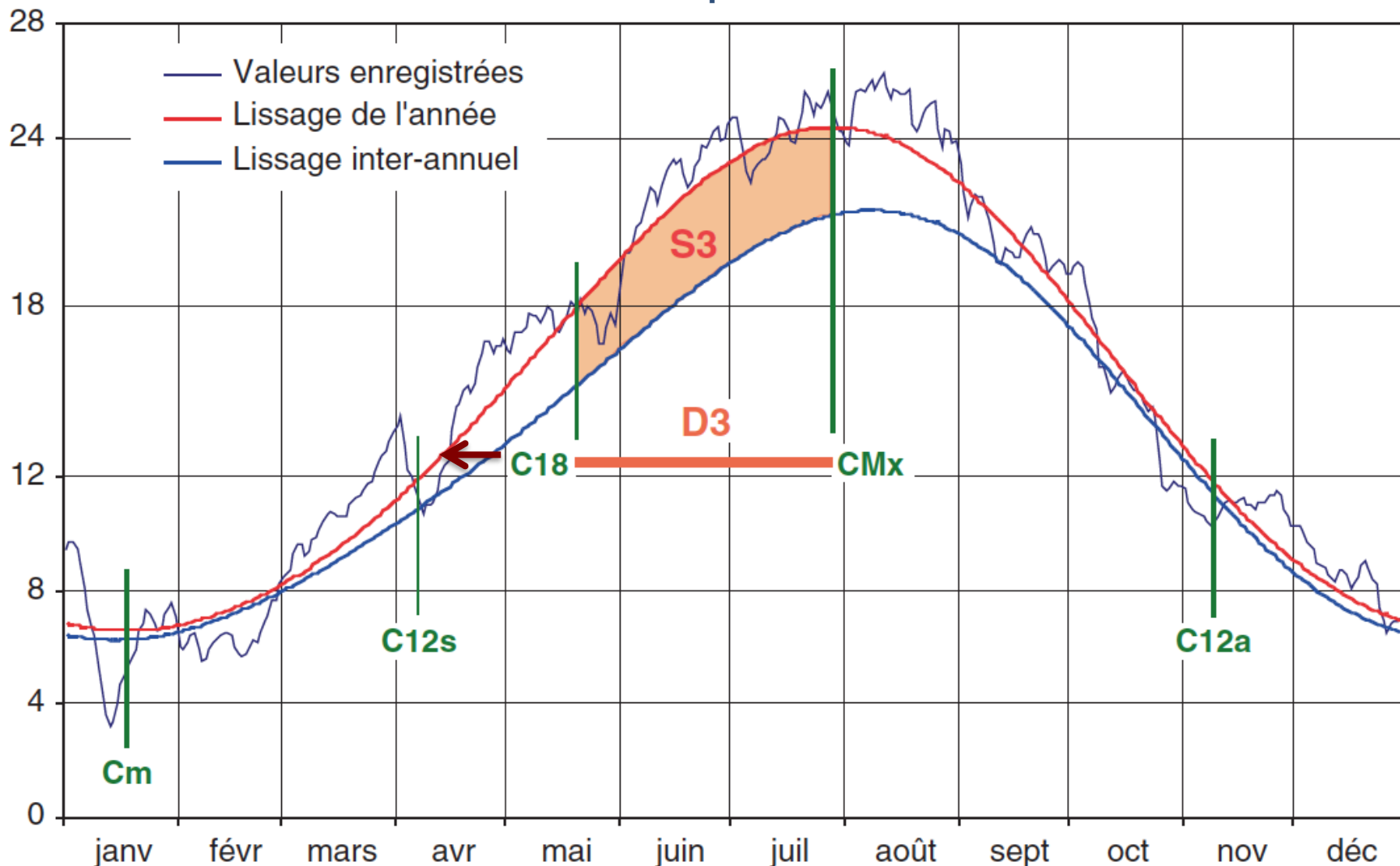


Fig. 6. Variables thermiques à Tricastin amont pour l'année 2003. La courbe supérieure (rouge) est la température lissée autour des valeurs moyennes journalières, la courbe inférieure (bleue) est obtenue par lissage sur la série complète de valeurs (1977 à 2004). Les valeurs des variables indiquées (C, S & D) se rapportent à l'année 2003. Par exemple, S3 (somme en degrés-jours) est l'aire comprise entre les deux courbes, limitée par C18 (seuil 18 °C) et par CMx (maximum thermique annuel). Khalanski *et al*, 2008

Sensibilité : représente le degré avec lequel une espèce est affectée (positivement ou négativement) par la variabilité ou le changement liés au climat.

- **habitat ou micro-habitat très spécialisés,**
- **variables environnementales** liées au climat **dépassant** potentiellement les **limites de tolérance** (seuils) des espèces,
- **dépendance de facteurs environnementaux « déclencheurs »** qui peuvent être perturbés par des changements liés au climat (migration, reproduction etc...),
- **dépendance d'interactions interspécifiques** qui peuvent être perturbées par des changements liés au climat,

Sensibilité : représente le degré avec lequel une espèce est affectée (positivement ou négativement) par la variabilité ou le changement liés au climat.

- **habitat ou micro-habitat très spécialisés**,
- **variables environnementales** liées au climat **dépassant** potentiellement les **limites de tolérance** (seuils) des espèces,
- **dépendance de facteurs environnementaux** « *déclencheurs* » qui peuvent être perturbés par des changements liés au climat (migration, reproduction etc...),
- **dépendance d'interactions interspécifiques** qui peuvent être perturbées par des changements liés au climat,
- **rareté** : vulnérabilité des petites populations,

Sensibilité : représente le degré avec lequel une espèce est affectée (positivement ou négativement) par la variabilité ou le changement liés au climat.

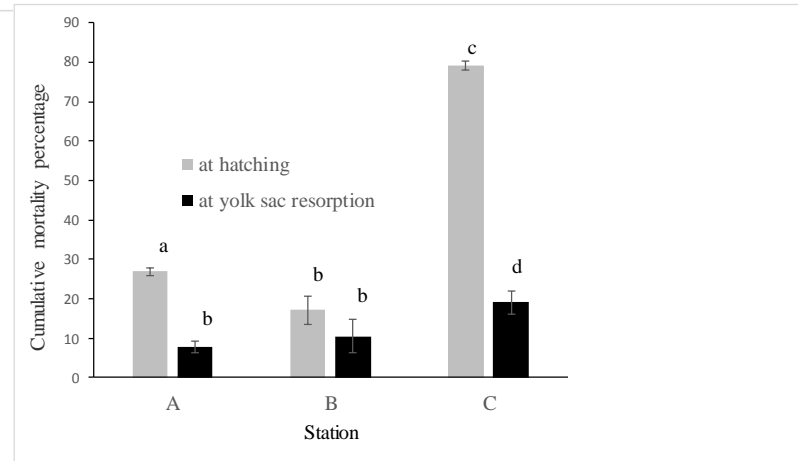
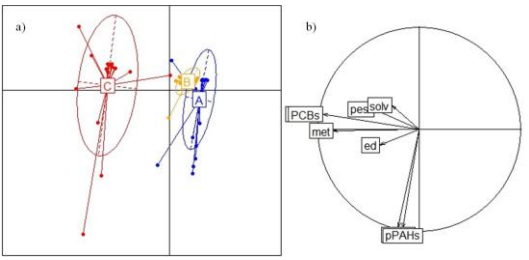
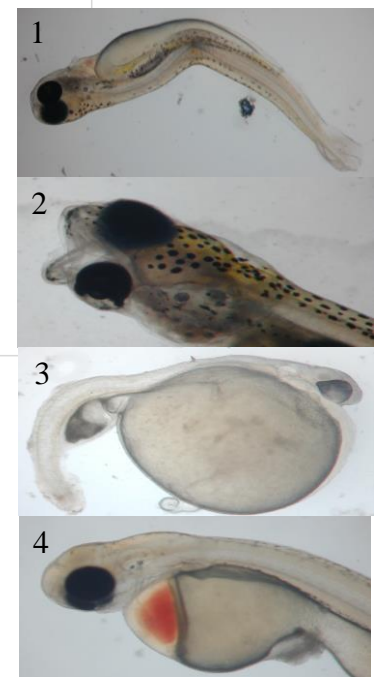
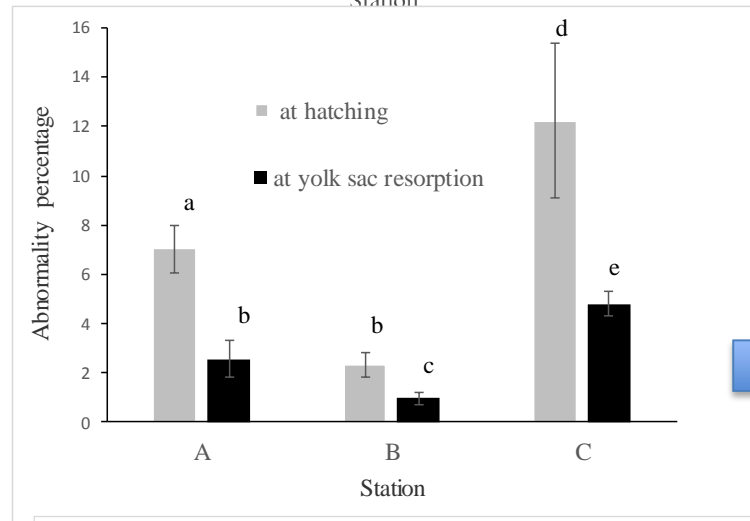
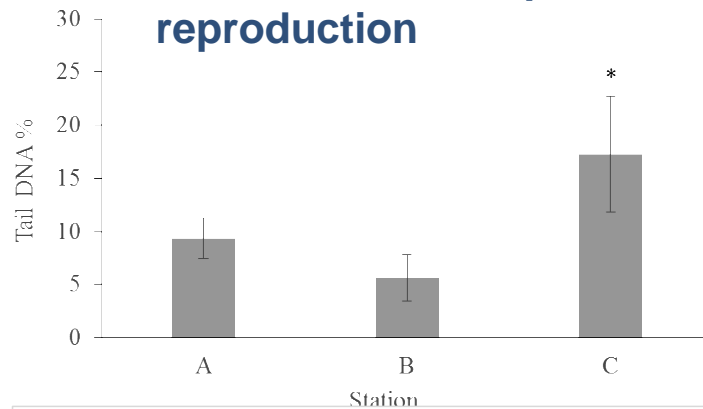
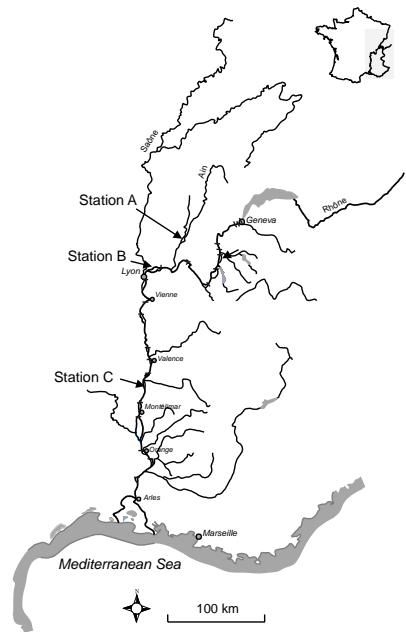
- **habitat ou micro-habitat très spécialisés**,
- **variables environnementales** liées au climat **dépassant** potentiellement les **limites de tolérance** (seuils) des espèces,
- **dépendance de facteurs environnementaux** « *déclencheurs* » qui peuvent être perturbés par des changements liés au climat (migration, reproduction etc...),
- **dépendance d'interactions interspécifiques** qui peuvent être perturbées par des changements liés au climat,
- **rareté** : vulnérabilité des petites populations,
- **cycles de vie 'sensible'** : ex temps de génération long associé à un taux de croissance faible, population avec des fluctuations 'naturellement' importantes, stades de développement inféodés à des habitats particuliers (fortes concentrations d'individus)...

Sensibilité : représente le degré avec lequel une espèce est affectée (positivement ou négativement) par la variabilité ou le changement liés au climat.

- **habitat ou micro-habitat très spécialisés,**
- **variables environnementales** liées au climat **dépassant** potentiellement les **limites de tolérance** (seuils) des espèces, **dépendance de facteurs environnementaux** « **déclencheurs** » qui peuvent être perturbés par des changements liés au climat (migration, reproduction etc...), **dépendance d'interactions interspécifiques** qui peuvent être perturbées par des changements liés au climat,
- **rareté** : vulnérabilité des petites populations,
- **cycles de vie 'sensible'** : ex : temps de génération long associé à un taux de croissance faible, population avec des 'naturellement' fluctuations importantes, stades de développement inféodés à des habitats particuliers (fortes concentrations d'individus)...,
- **forte exposition à d'autres types de pressions** : maladies, espèces invasives, occupation des sols, expositions aux contaminants.

Génotoxicité des contaminants

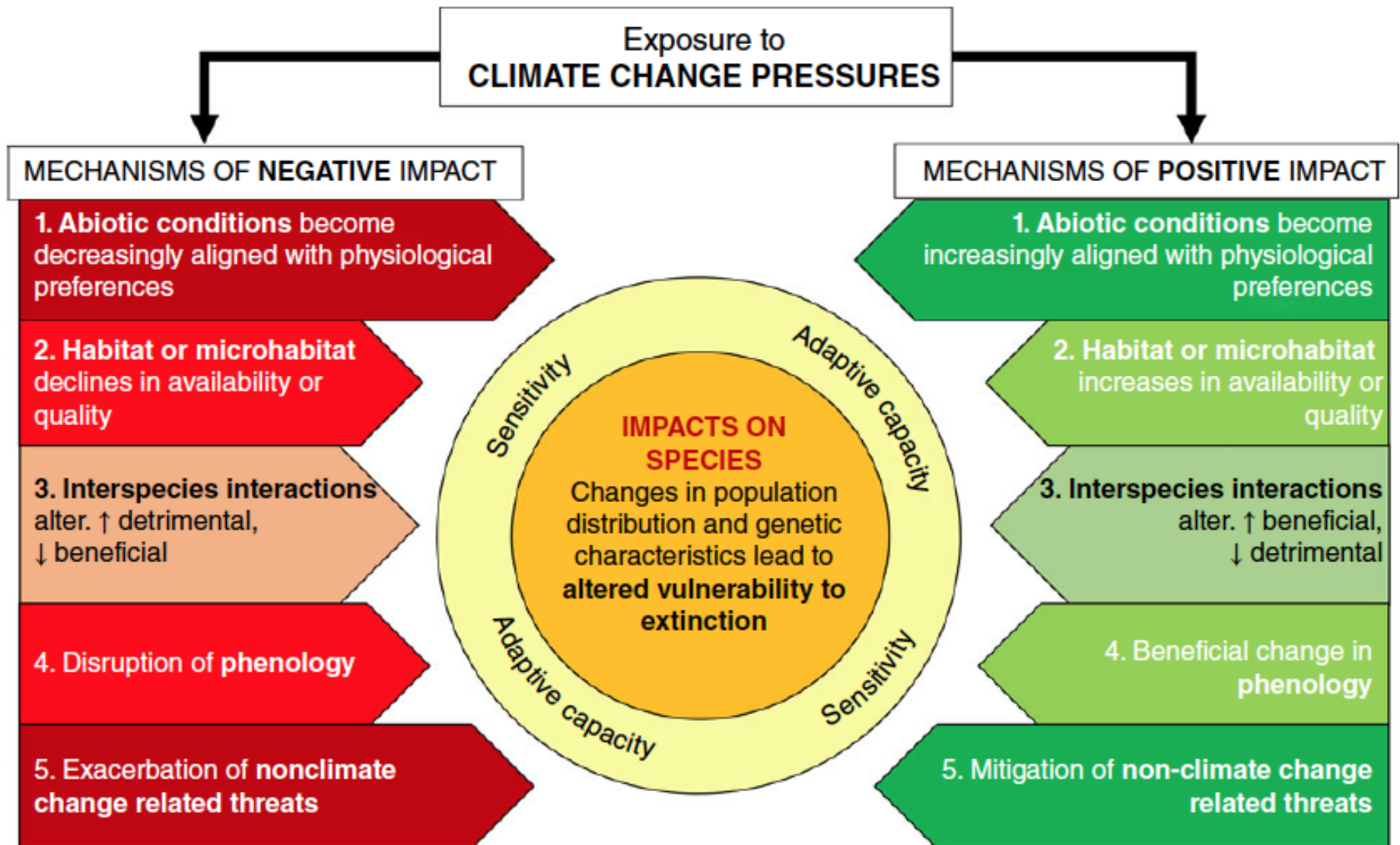
Altération de la capacité de reproduction



Capacité adaptative : capacité potentielle d'une espèce de s'adapter au changement climatique, incluant la variabilité et les événements extrêmes, donc de limiter les impacts potentiels et potentiellement de tirer avantages des nouvelles opportunités. La capacité adaptative est spécifique du contexte.

=> Facteurs intrinsèques : capacités de dispersion, plasticité phénotypique, caractéristiques génétique (pool)

=> Facteurs externes : limitent ou contraignent l'expression de la capacité adaptative



Mécanismes illustrant comment les pressions liées au changement climatique peuvent exercer un impact sur les espèces

La réponse des espèces aux modifications environnementales liées au changement climatique est complexe :

- elle peut s'exprimer directement (dépassement des seuils températures tolérées par exemple)
- elle peut s'exprimer sur le moyen long terme *via* une diminution de la capacité de reproduction, une fragmentation des habitats, un isolement génétique des populations...
- elle peut s'exprimer en synergie avec les impacts des autres pressions (micropolluants par exemple, mais aussi altération des régimes de précipitations et/ou hydrologiques)

Approches prédictives :

- Différents types de modèles

Table 1 | Examples of objectives in climate change vulnerability assessments, on the basis of the scale to be adopted.

Type of objective	Temporal scale			Spatial scale			Taxonomic scale		
	Past	Recent past/ present	Present/ Future	Local/site	Regional	Global	Population and ranks below species	Single species	Multi species
Correlative	Reconstructing species' past distribution ¹⁰¹	Modelling current climatic suitable areas for species ²²	Predicting climate-induced future range shifts under different time intervals ^{38,102}	Quantifying the area that will remain climatically suitable for species living in areas important for conservation ⁶⁰	Assessing the ability of a network of protected areas to ensure the persistence of species ¹⁰³	Identifying the most important climatic variables in determining a species' distribution globally ¹⁹	Quantifying the latitudinal/ altitudinal shifts of the various populations of a species ¹⁰⁴	Assessing a species' future threat status ⁹³	Predicting spatial patterns of species richness ¹⁰⁵
	Identifying past climatic refugia ¹⁰⁶	Quantifying percentage range gains/ losses in the last decades to estimate extinction risk ³⁸	Projecting future range margin contractions/ expansions by 2080 ⁹²	Quantifying species' turnover within a protected area ⁵⁴	Identifying and designing potential areas to be protected within a region ¹⁰⁷	Identifying hotspots of species that are highly exposed ⁹⁹	Assessing which of the populations of a species will experience the greatest changes in distribution ¹⁰⁴	Predicting spatial overlap between the current and future ranges of a species ¹⁰⁸	Modelling possible future community assemblages ¹⁰⁹
Mechanistic	Representing postglacial expansions from glacial refugia ¹⁰⁰	Quantifying population reductions in recent times due to changes in sea- ice extent ⁴¹	Predicting survival under future climate change ¹¹¹	Determining climatic factors that affect reproductive success of a reintroduced species ¹¹²	Exploring the range margin dynamics for species of conservation concern within a region ⁴⁰	Assessing species thermal tolerances across their range ¹¹³	Assessing the extinction risk of a population at the margins of a species' range ⁴⁰	Assessing the impacts of sea-level rise on a coastal species ¹¹⁴	Modelling prey-predator dynamics under future climatic conditions ⁴⁵
	Understanding the effects of changes in CO ₂ concentration on plants ¹¹⁵	Determining population viability due to an increase in frequency of extreme climatic events during the past decades ⁴³	Assessing species' probability of extinction by 2100 ⁴¹	Predicting the probability of extinction of a keystone species within a site ⁴²	Exploring the extinction risk of a species in part of its range ³⁹	Predicting changes in fitness due to global warming globally ⁶⁸	Determining the extinction risk of a threatened subspecies ³⁴	Estimating species' abundance in the future under climate change ¹¹⁶	Predicting future expansions of invasive species ¹¹⁷
TVA	Identifying trends of past extinctions related to life history traits ¹¹⁸	Identifying taxonomic groups that currently retain high numbers of sensitive and unadaptable species ⁷⁸	Identifying sensitive species living in areas that are likely to become highly exposed in the future ¹¹⁹	Prioritizing conservation actions at the local scale ¹²⁰	Making an assessment of species vulnerability within a country ⁸⁰	Identifying species with the greatest relative vulnerability to climate change ⁷⁸	Identifying potential adaptive characteristics of an isolated subspecies ³⁵	Identifying the traits that make a species most vulnerable to climate change ¹²⁰	Identifying the most vulnerable species to climate change within a taxon ²⁰
	Predicting the response of species that share life-history traits with past extinct/ impacted species to future climatic changes ¹²¹	Identifying the characteristics of species that played the most important role in determining reductions/ extinctions in recent years ¹⁴	Identifying unadaptable species with the largest predicted range shifts in the coming decades ⁵³	Understanding which component of vulnerability is prevalent for a species within a site ¹²²	Understanding how traits relate to changes in occurrence of species within a freshwater basin subject to droughts ¹¹	Identifying areas with the greatest number of vulnerable species at the global scale ¹⁴	Identifying potentially vulnerable subspecies/ populations/ varieties with relatively unknown distribution ³⁶	Assessing species' adaptive capacity/ resilience ¹⁴	Selecting different adaptation strategies according to the relative vulnerability of different species ⁷⁸

TVA : Trait based
Vulnerability Assessment
approches

La réponse des espèces aux modifications environnementales liées au changement climatique est complexe :

- elle peut s'exprimer directement (dépassement des seuils températures tolérées par exemple)
- elle peut s'exprimer sur le moyen long terme *via* une diminution de la capacité de reproduction, une fragmentation des habitats, un isolement génétique des populations...
- elle peut s'exprimer en synergie avec les impacts des autres pressions (micropolluants par exemple, mais aussi altération des régimes de précipitations et/ou hydrologiques)

Approches prédictives :

- Différents types de modèles

Espèces peu connues, peu documentées : difficultés pour évaluer leur vulnérabilité => différentes alternatives

TABLE 7 Alternative approaches for carrying out climate change vulnerability assessment in three challenging situations, namely for poorly known species, those with naturally small ranges, and those with ranges that have become smaller due to anthropogenic threats. (Reprinted with permission from Foden et al. (2016). Copyright 2016 IUCN)

	Poorly known species	Small-range species	Declined-range species (not climate-related)
Conventional approaches			
Correlative models	Statistically problematic where occurrence records are insufficient	Statistically problematic due to insufficient occurrence records	Problematic since extant range cannot be used to infer environmental niche
Mechanistic models	Problematic where mechanistic information is insufficient	Applicable if mechanistic data available	Applicable if mechanistic data available
Trait-based models	Problematic where trait information is insufficient	Applicable if trait data available	Applicable if trait data available
Alternative approaches			
Fill data gaps	High priority; data addition or inference may render all conventional approaches applicable	Beneficial for correlative approaches if new data extend known distribution range New trait data may render conventional trait-based and mechanistic approaches applicable	Additional data on extinct localities or range are advisable to complement extant occurrence records for correlative modeling (thus increasing environmental niche coverage). Additional trait data likely to render conventional trait-based and mechanistic approaches applicable
Temporal analysis of population variability	Potentially the best solution, but problematic where time-series information is insufficient. May not fully capture impact mechanisms associated with long-term climatic change	Potentially applicable, if robust time-series of interannual population variability are available. Underlying demographic processes should be carefully considered. May not fully capture impact mechanisms associated with long-term climatic change	Potentially applicable, if robust time-series of interannual population variability are available. Underlying demographic processes should be carefully considered. May not fully capture impact mechanisms associated with long-term climatic change
Modified correlative techniques	Potentially applicable; advantageous when species-level results are essential, although results will be less reliable	Potentially applicable, and advantageous when species-level results are essential	Potentially applicable, but important to ensure that predictors associated with decline are included in model or used to filter model projections
Alternative taxonomic focus	Assessing assemblages of associated species is applicable when species-level results are not essential. This can be applied using conventional correlative and trait-based approaches	Apply correlative models to interacting species, particularly where closely coupled to the focal species (e.g., specialist resource species or close competitors). Assessing assemblages of associated species is applicable when species-level results are not essential; this can be applied using conventional correlative or trait-based approaches	As for 'small-range species'. Assessing assemblages is particularly relevant where they share a common reason for decline. Ensure that predictors associated with decline are included in model or used to filter model projections
Exposure assessment of geographic area	Potentially applicable if region of occurrence is known and when species-level results not essential	Applicable when species-level results not essential; potential to make results more species-specific by using traits to interpret likely threats and opportunities arising due to region's exposure to climate changes	Applicable when species-level results not essential; potential to make results more species-specific by using traits to interpret likely threats and opportunities arising due to region's exposure to climate changes and by considering impacts on drivers of species decline



Les poissons d'eau douce à l'heure du **changement climatique** : état des lieux et pistes pour l'adaptation

Florence Baptist, Nicolas Poulet
& Nirmala Séon-Massin (coordinateurs)