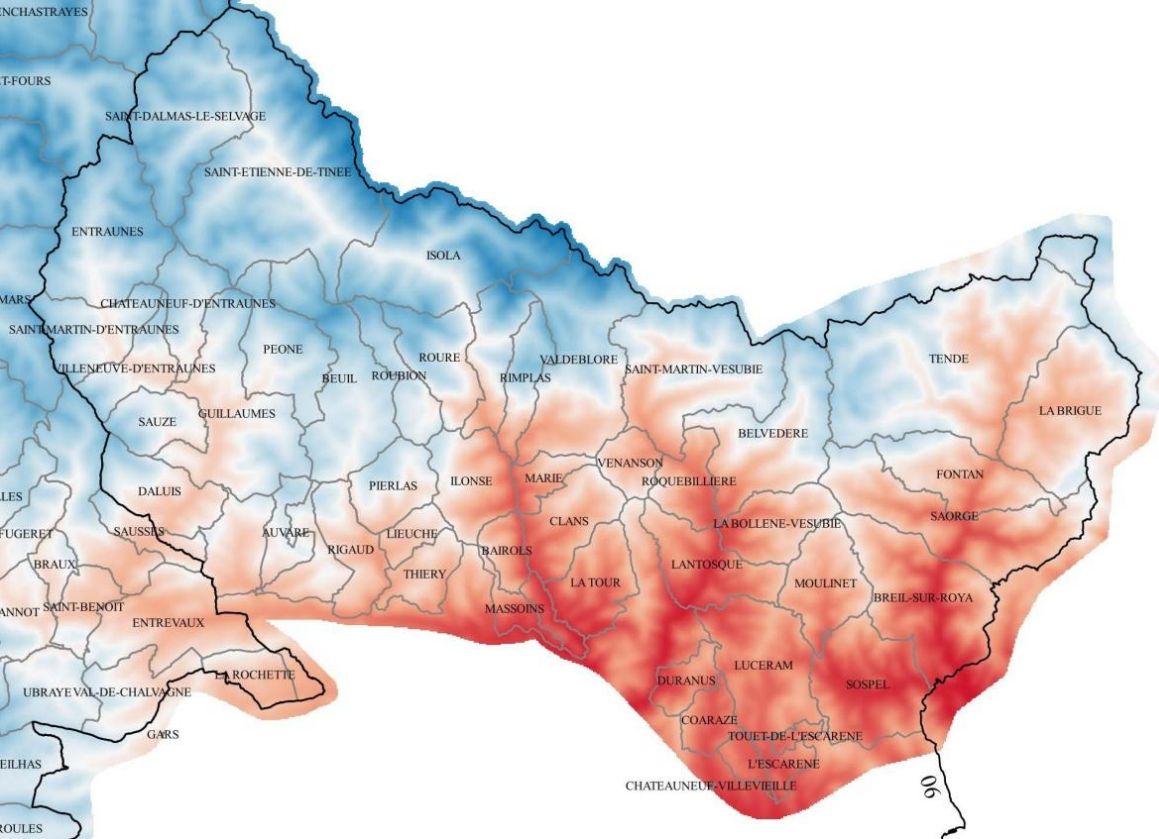




En partenariat avec



LES  **ALPES MARITIMES**



**Région
PACA**

Prospective climatique dans les Alpes du Sud

Geograph^R

Philippe Rossello

Breil-sur-Roya, 24 janvier 2015

Sommaire

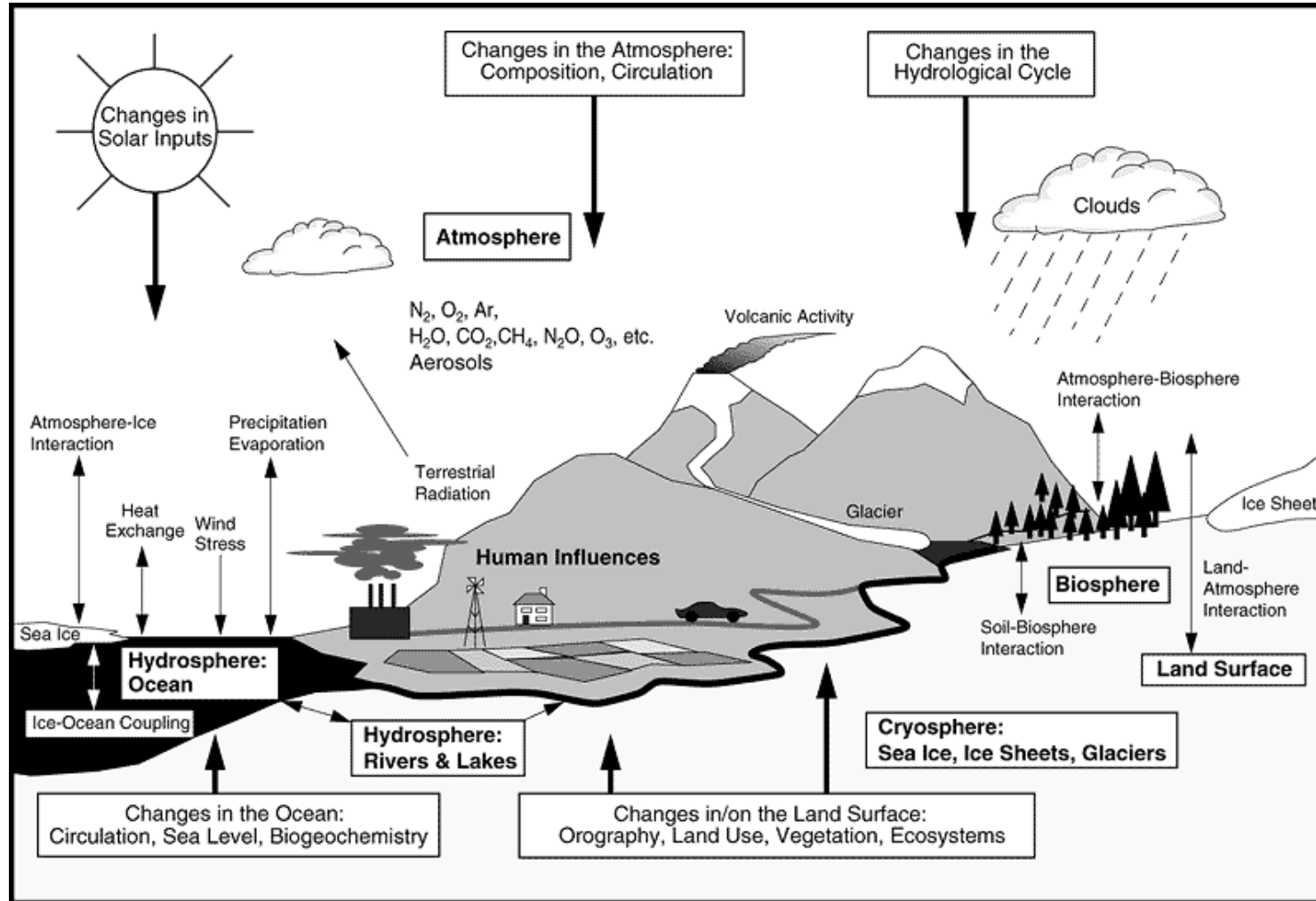
Le système climatique de l'échelle globale à l'échelle régionale

Les scénarios régionalisés du projet DRIAS

Définir le climat présent et futur des Alpes du Sud

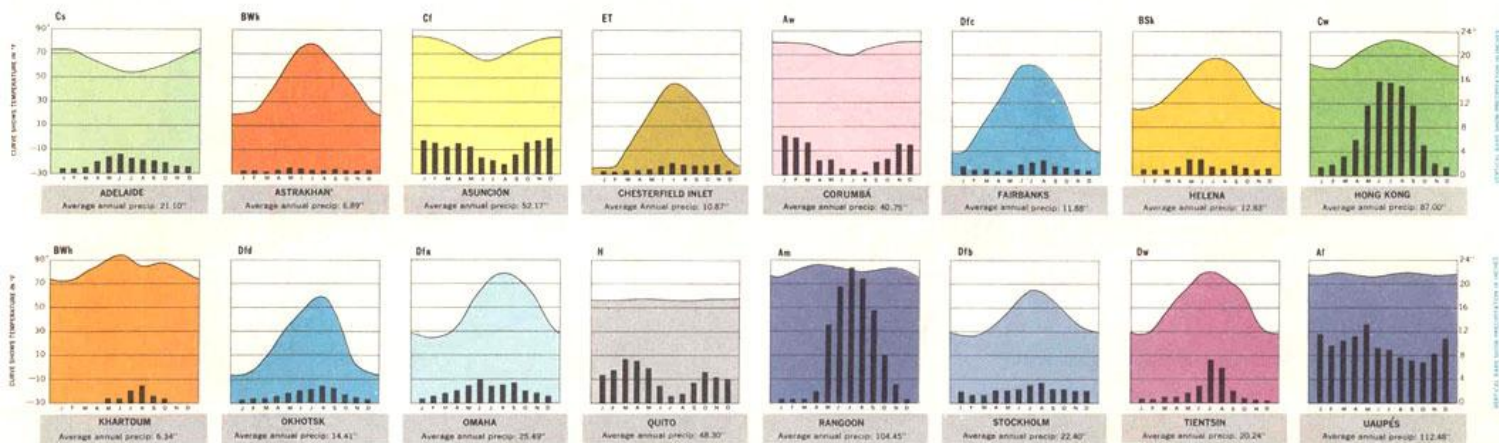
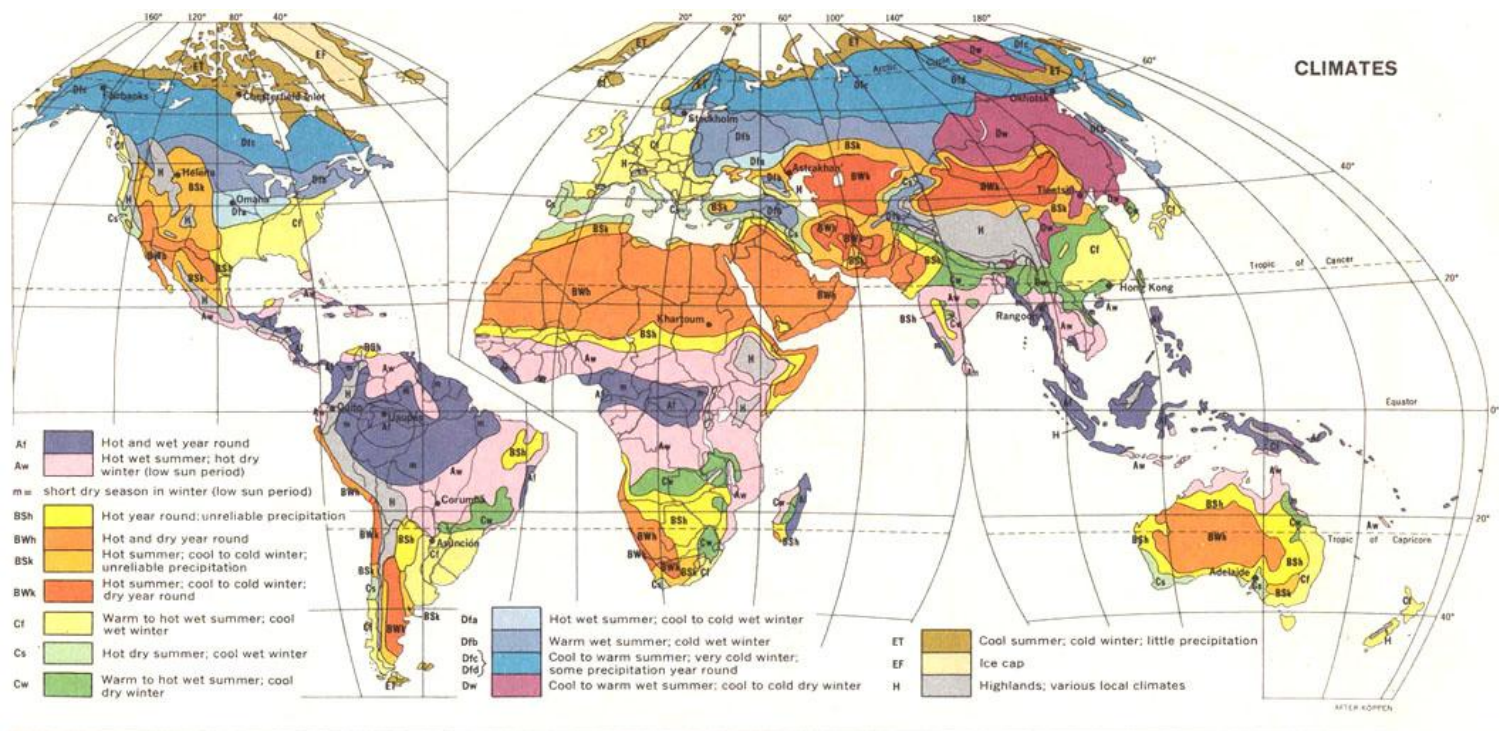
Les perspectives

Le système climatique



N_2 - azote
 O_2 - dioxygène
 Ar - Argon
 H_2O - vapeur d'eau
 N_2O - protoxyde d'azote
 O_3 - ozone
 ...

Variation spatiale (conditions moyennes + cycle saisonnier)

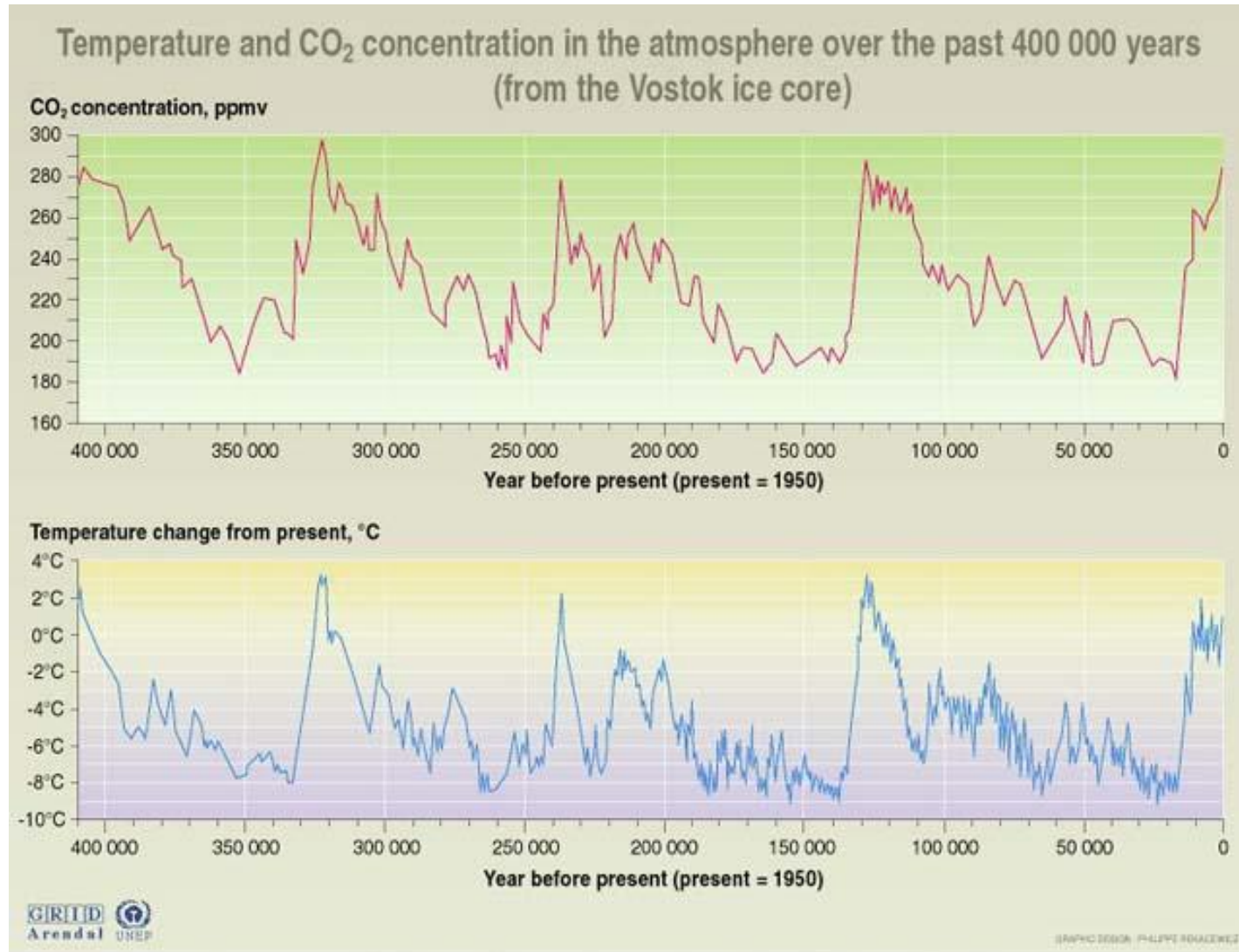


Quelques chiffres...

- ❖ La température moyenne à la surface de la Terre augmente depuis 1880. Les 20 années les plus chaudes ont été mesurées depuis 1981. 2014 est l'année la plus chaude (température moyenne de l'air). Malgré la baisse de l'activité solaire à partir de 2000, les températures de surface ont continué à augmenter. La dernière décennie est la plus chaude enregistrée depuis le milieu du XIX^{ème} siècle
- ❖ Le niveau de la mer : +17 cm au cours du siècle dernier
- ❖ Les calottes de glace du Groenland et de l'Antarctique ont diminué en masse
- ❖ L'étendue et l'épaisseur de la banquise arctique ont diminué rapidement au cours des dernières décennies
- ❖ Les glaciers reculent presque partout dans le monde entier - y compris dans les Alpes, l'Himalaya, les Andes, les Rocheuses, en Alaska et en Afrique
- ❖ Le changement climatique engendre une modification de la fréquence des événements extrêmes (d'après les modèles)

Variations passées du climat terrestre

Périodes glaciaires et interglaciaires



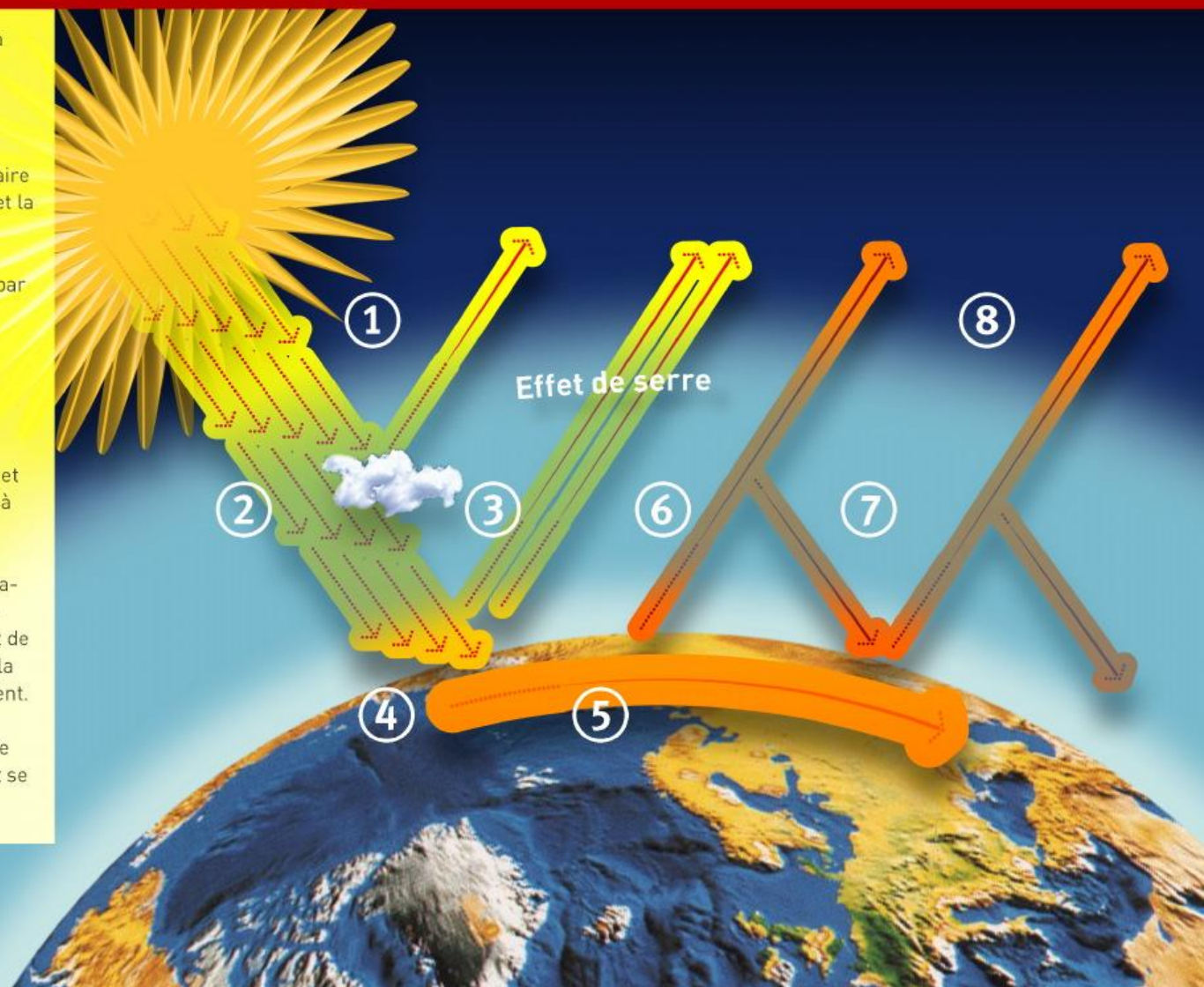
Source: J.R. Petit, J. Jouzel, et al. Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core in Antarctica, Nature 399 (3/June), pp 429-436, 1999.

Le principe de l'effet de serre

un phénomène naturel

- ① Le rayonnement solaire passe à travers l'atmosphère claire.
- ② Rayonnement solaire entrant.
- ③ Une partie du rayonnement solaire est réfléchi par l'atmosphère et la surface de la Terre.
- ④ L'énergie solaire est absorbée par la surface de la Terre.
- ⑤ Elle est ensuite convertie en chaleur en renvoyant un rayonnement infrarouge.
- ⑥ La surface se réchauffe encore et un rayonnement infrarouge est à nouveau émis.
- ⑦ Une partie du rayonnement infrarouge est absorbée et ré-émise par les molécules de gaz à effet de serre. La basse atmosphère et la surface de la Terre se réchauffent.
- ⑧ Le reste du rayonnement solaire passe à travers l'atmosphère et se perd dans l'espace.

Source : GIEC, 3^e rapport



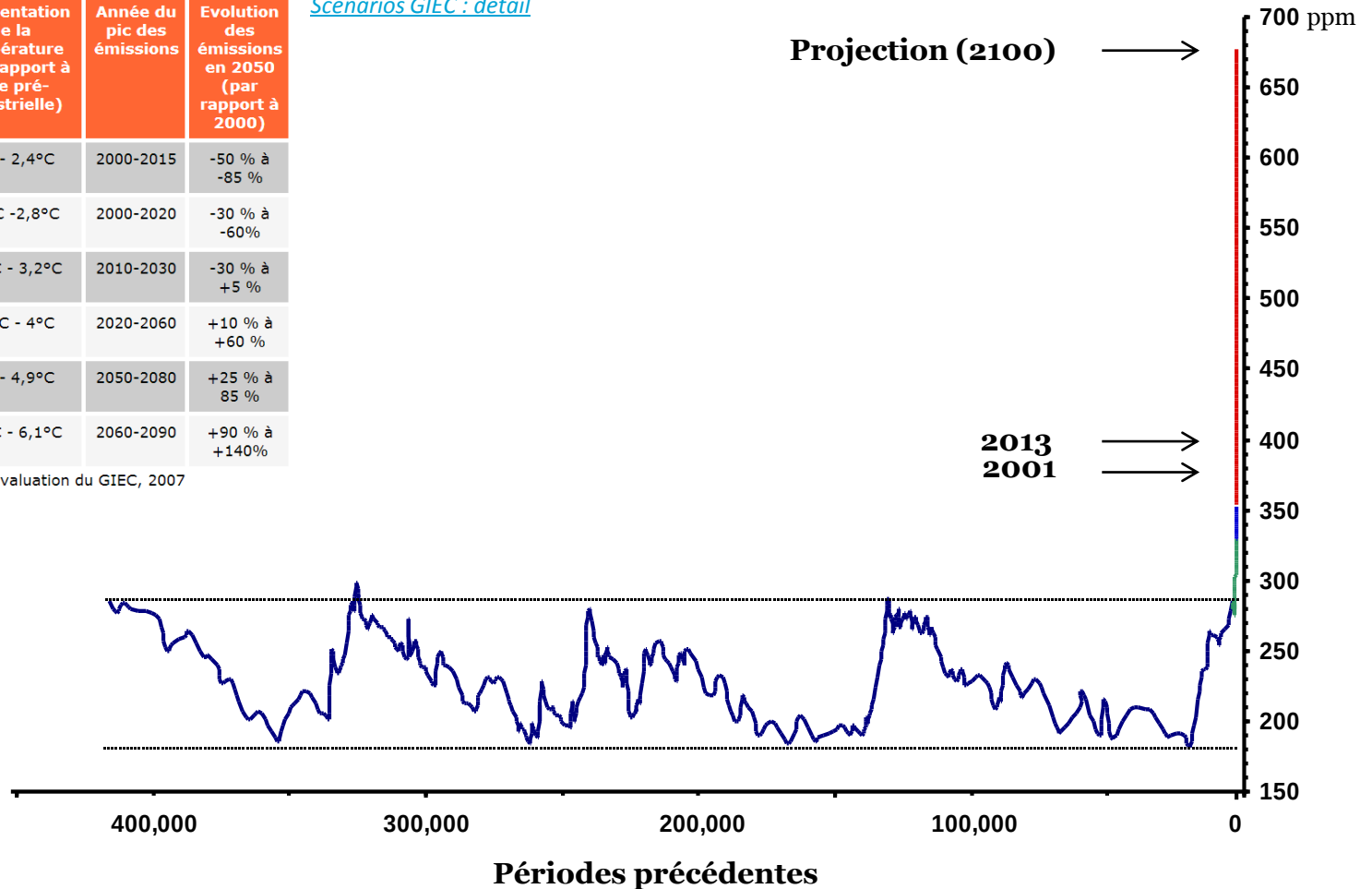
Evolution du taux de CO₂ dans l'atmosphère depuis 420 000 ans

Les scénarii du GIEC, en chiffres

Concentration en CO ₂ (ppm)	Augmentation de la température (par rapport à l'ère pré-industrielle)	Année du pic des émissions	Evolution des émissions en 2050 (par rapport à 2000)
350-400	2°C - 2,4°C	2000-2015	-50 % à -85 %
400-440	2,4°C - 2,8°C	2000-2020	-30 % à -60 %
440-485	2,8°C - 3,2°C	2010-2030	-30 % à +5 %
485-570	3,2°C - 4°C	2020-2060	+10 % à +60 %
570-660	4°C - 4,9°C	2050-2080	+25 % à 85 %
660-790	4,9°C - 6,1°C	2060-2090	+90 % à +140 %

[Scénarios GIEC : détail](#)

Source : 4ème Rapport d'évaluation du GIEC, 2007

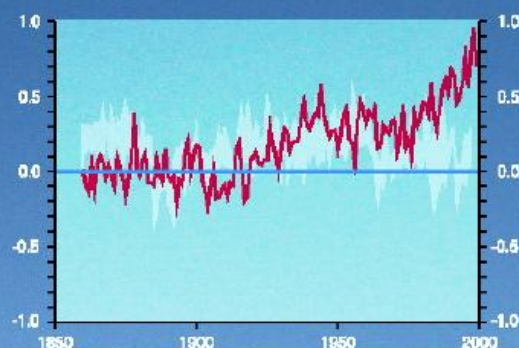


Unité ppm : 1 partie pour million. 1 ppm = 10⁻⁶ mg par kg ou gramme par tonne ou ml par m³

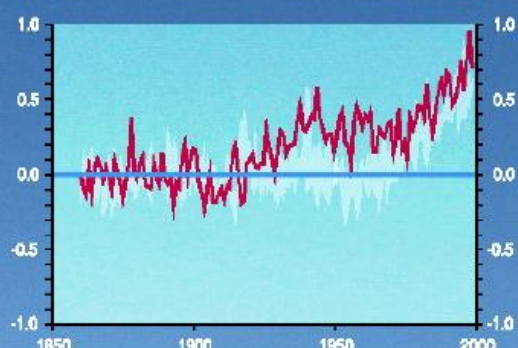
La preuve de la contribution de l'homme au réchauffement

Confrontation entre les températures obtenues avec les modèles (en blanc) et celles constatées depuis 1850 (en rouge)

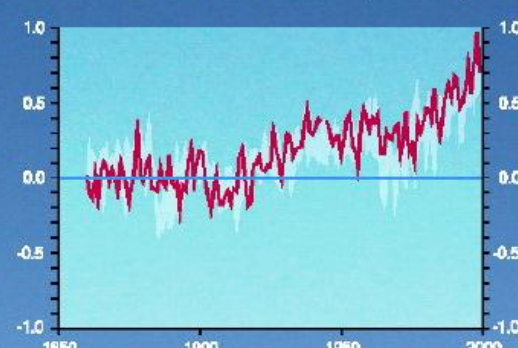
a) variations naturelles du climat (en °C)



b) variations dues à l'homme (en °C)

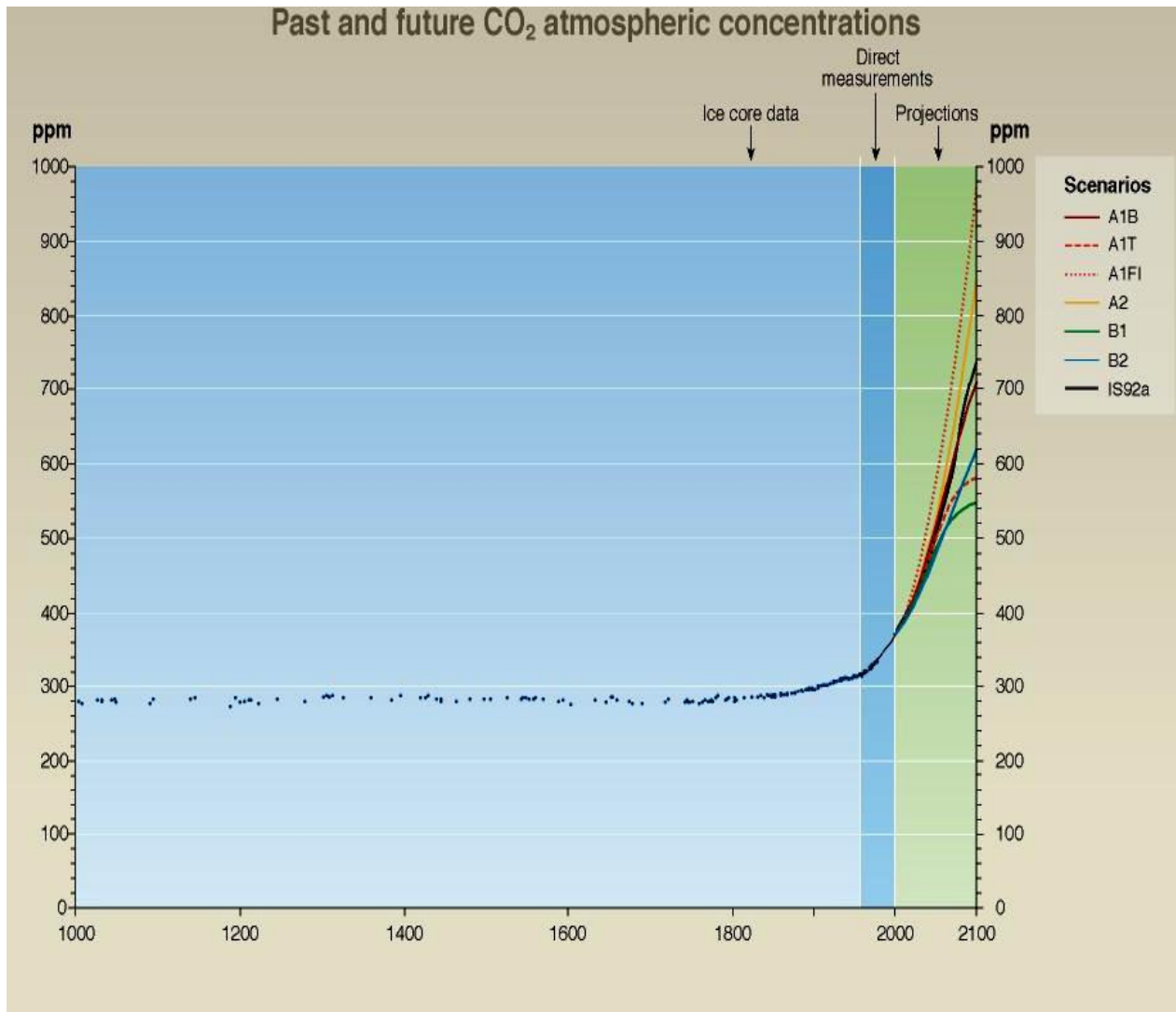


c) combinaison des variations naturelles et dues à l'homme (en °C)



Source : GIEC 3^e rapport

Multiplication par 2 du taux de CO₂ en 2100



Source : IPCC

Les sources des gaz à effet de serre émis par l'homme

Le dioxyde de carbone : CO_2

- Transports (avions, autos, camions)
- Habitat (chauffage notamment)
- Production d'électricité
- Déforestation
- Combustion énergie fossile
- Activités industrielles, etc.

Le méthane : CH_4

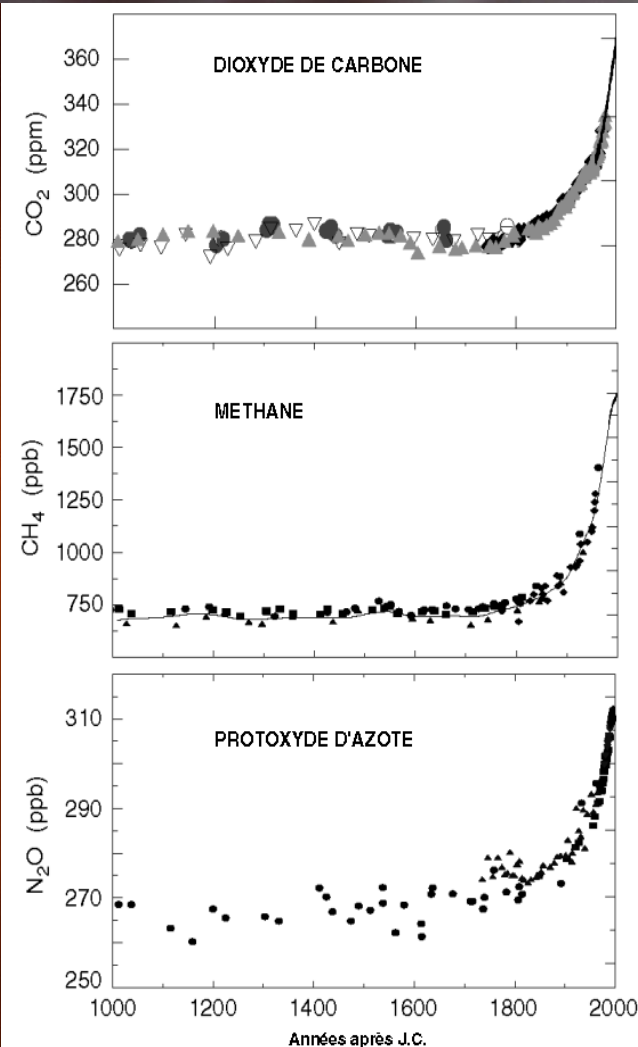
- Agriculture (élevage)
- Décharges
- Production pétrole, gaz, charbon, etc.

Le protoxyde d'azote : N_2O

- Combustion de la biomasse
- Synthèses chimiques industrielles
- Automobiles
- Agriculture (engrais et pratiques agricoles), etc.

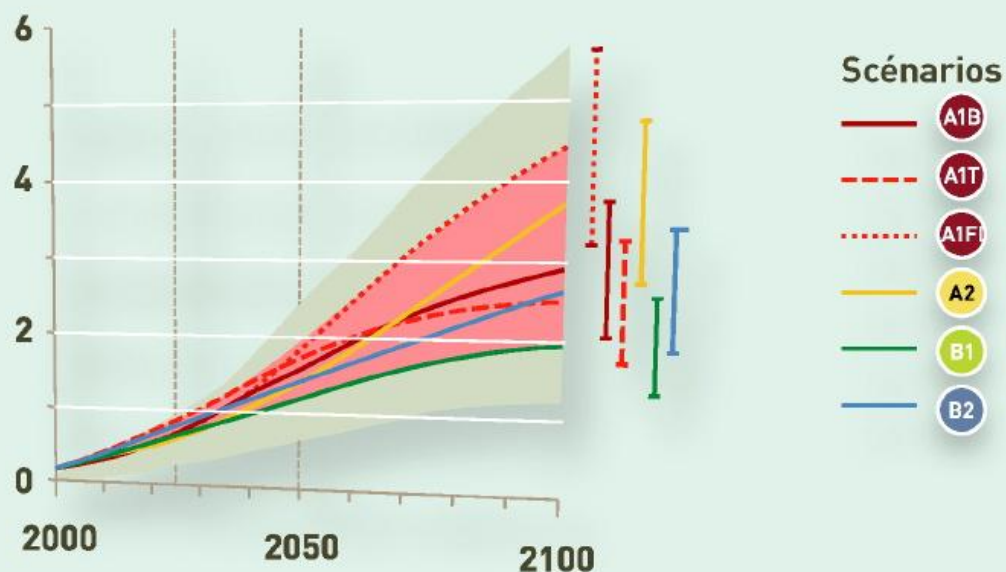
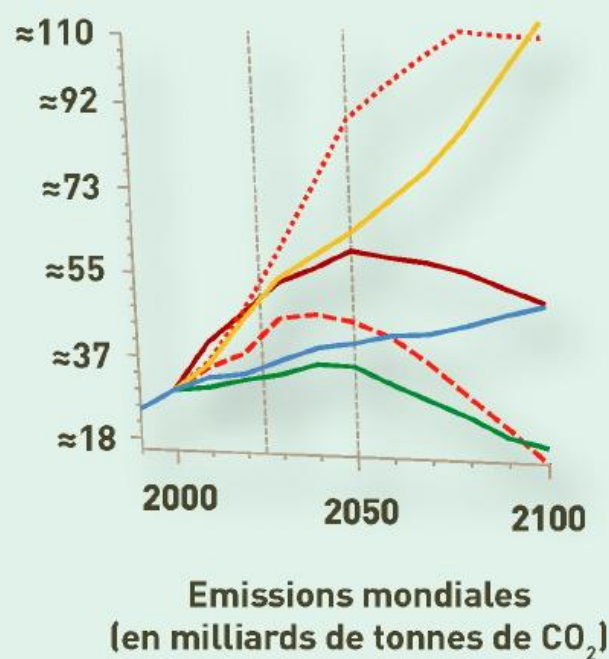
Les 3 types de gaz fluorés : HFC, PFC, SF_6

- Climatisation auto et habitat
- Systèmes de réfrigération
- Industries des semi-conducteurs, etc.



Visibilité pour le XXI^e siècle

Quels avenir possibles ?

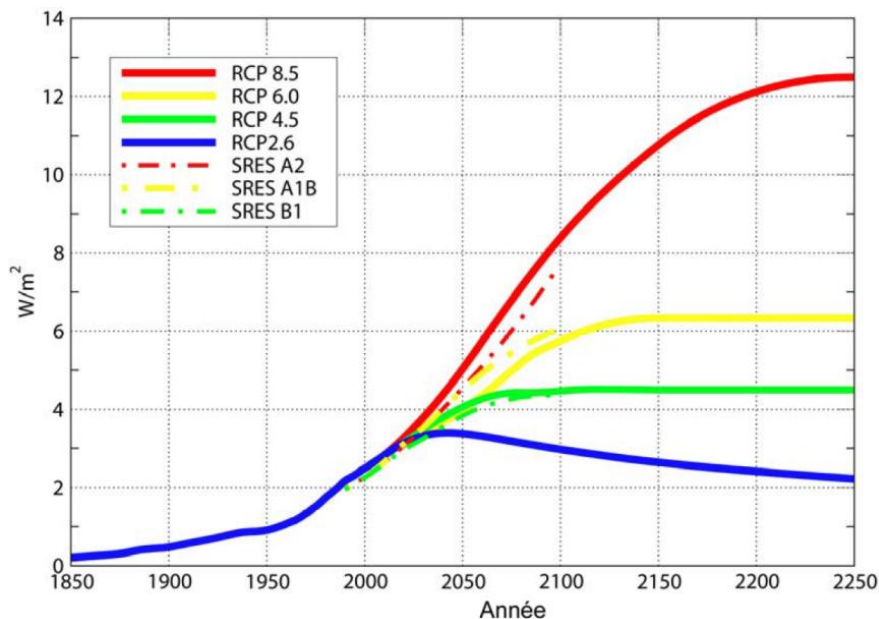


Les SRES (Special Report on Emissions Scenarios) correspondent aux anciens scénarios d'émissions A1 à B2 publiés en 2001 et 2007

Source : GIEC, 3^e rapport

Visibilité pour le XXI^e siècle

Quels avenir possibles ?



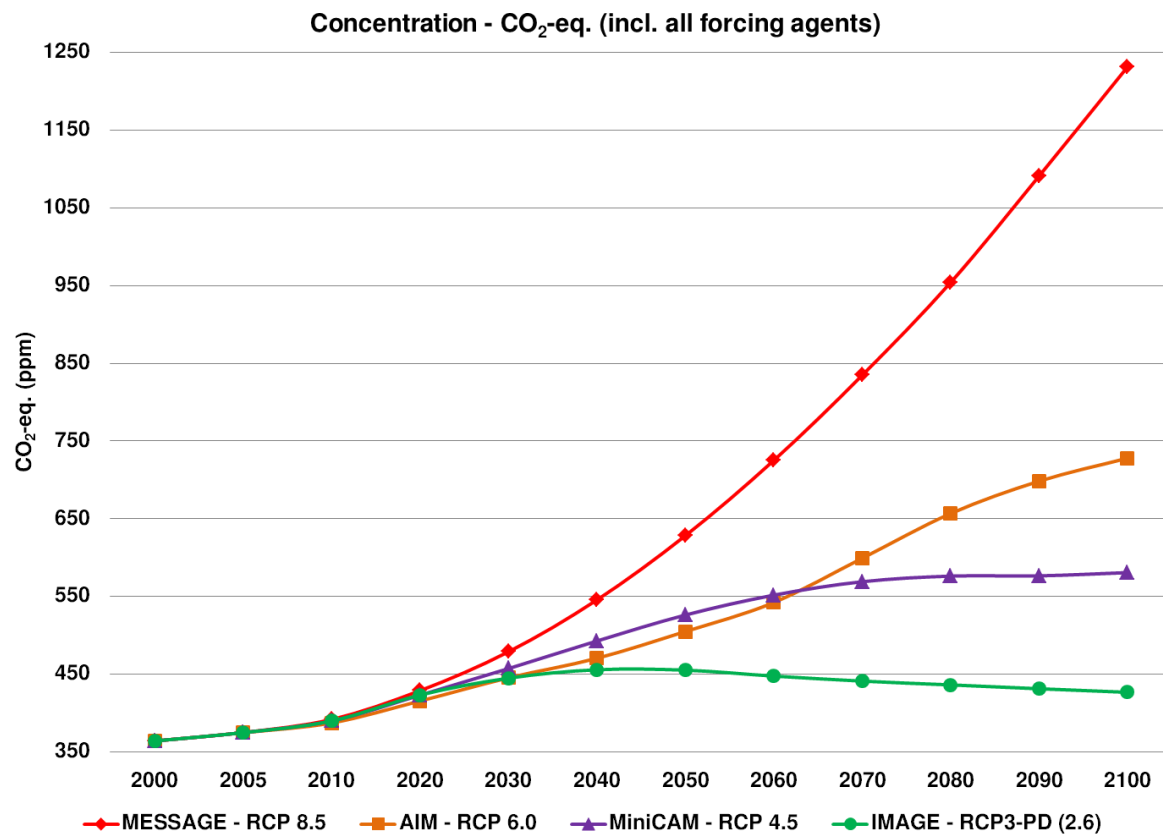
Le forçage radiatif correspond à un changement du bilan radiatif (différence entre le rayonnement incident ou entrant et le rayonnement sortant) au sommet de la troposphère. Ce changement provient d'un des facteurs d'évolution du climat (concentration des gaz à effet de serre, par exemple).

Les RCP (Representative Concentration Pathways) correspondent aux scénarios d'émissions du 5^{ème} rapport (AR5) du GIEC de 2013. RCP 2.6 implique une réduction d'émissions de GES par la communauté internationale (scénario optimiste), tandis que le dernier (RCP 8.5) correspond à l'évolution des émissions actuelles si rien n'est fait pour les réduire (scénario pessimiste). Les scénarios RCP 4.5 et 6.0 sont des scénarios intermédiaires.

Nom	Forçage radiatif	Concentration (ppm)	Trajectoire
RCP 2.6	pic à $\sim 3 W.m^{-2}$ avant 2100, puis déclin	pic ~ 490 eq- CO_2 avant 2100, puis déclin	pic puis déclin
RCP 4.5	$\sim 4,5 W.m^{-2}$ au niveau de stabilisation après 2100	~ 660 eq- CO_2 au niveau de stabilisation après 2100	stabilisation sans dépassement
RCP 6.0	$\sim 6 W.m^{-2}$ au niveau de stabilisation après 2100	~ 850 eq- CO_2 au niveau de stabilisation après 2100	stabilisation sans dépassement
RCP 8.5	$> 8,5 W.m^{-2}$ en 2100	> 1370 eq- CO_2 en 2100	croissante

Les principales caractéristiques des scénarios RCP

eq- CO_2 : abréviation pour équivalent CO_2 = concentration de CO_2 équivalente à la totalité des gaz à effet de serre en termes de forçage radiatif



Pour éviter les impacts, la concentration de CO₂ dans l'atmosphère ne doit pas excéder 350 millions par partie. La concentration actuelle est de 400 millions par partie. Selon la communauté scientifique, au-delà de 450 millions par partie, le dérèglement climatique aura un fort impact à l'échelle de toute la planète.

Réchauffement

observé en France au XX^e siècle : +0,9°C

jusqu'à +0,7°C

de +0,7°C à +0,9°C

de +0,9°C à +1,1°C

supérieur à +1,1°C

L'augmentation des températures en France au cours du XX^e siècle est de l'ordre de 0,9°C. Le réchauffement est légèrement plus marqué au Sud qu'au Nord. La température a davantage augmenté en fin de nuit (température minimale) que le jour (température maximale). Les 10 années les plus chaudes du siècle sont toutes postérieures à 1988.



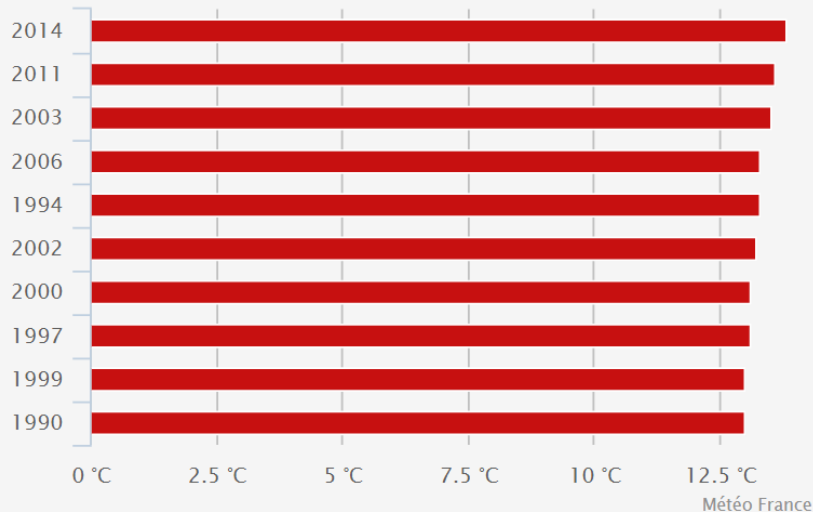
Tendances (en °C/siècle)
1901-2000 à partir
de 70 séries de
températures moyennes

Source : Météo France

En France...

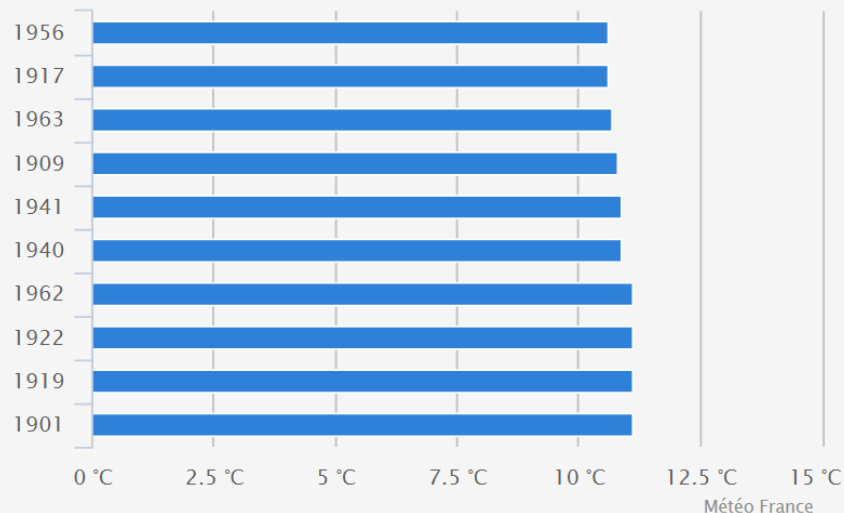
► Les 10 années les plus chaudes depuis 1900

Les années les plus chaudes sont toutes postérieures à 1990

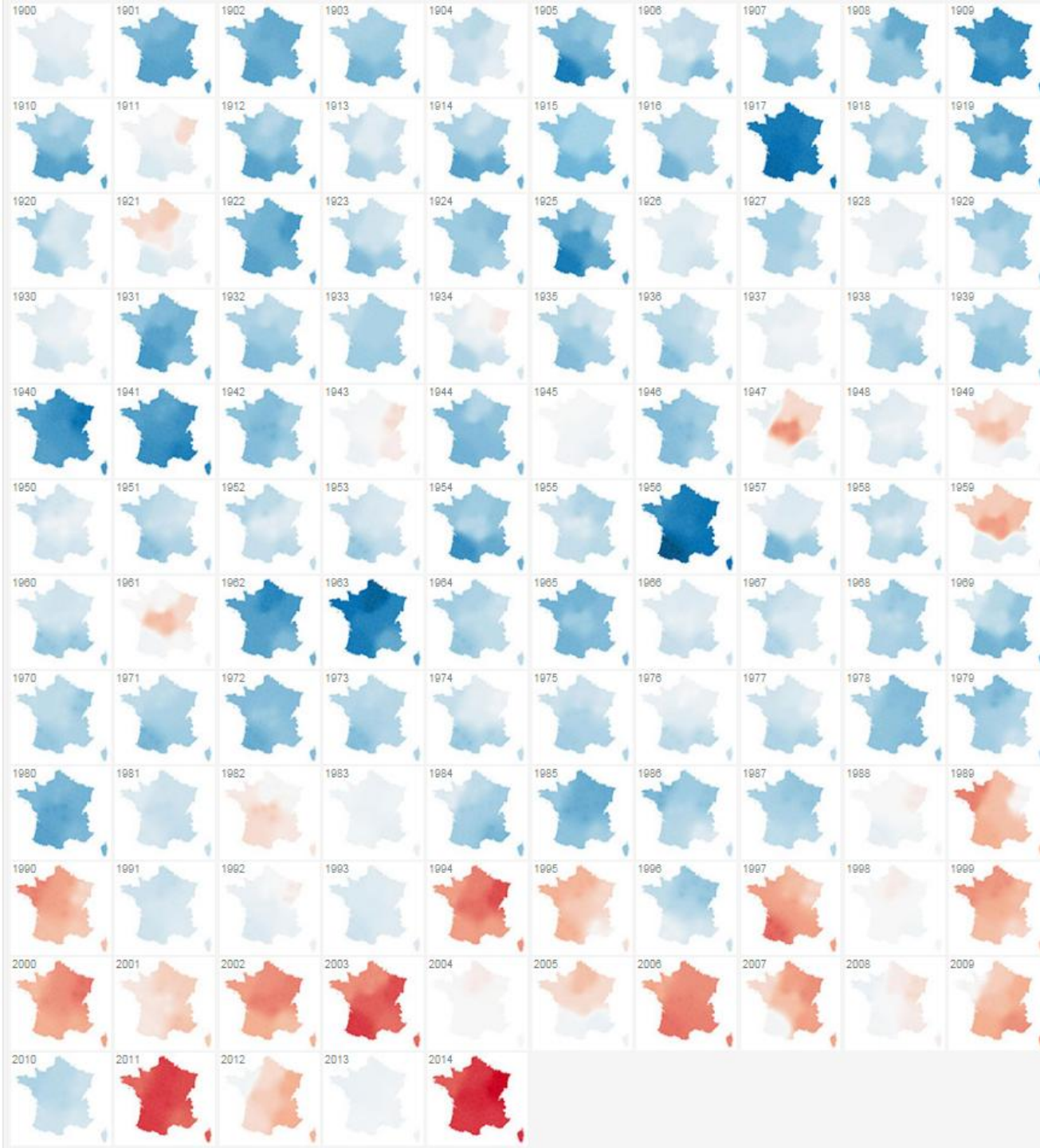


► Les 10 années les plus froides depuis 1900

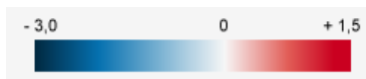
Parmi les années les plus froides, cinq ont été enregistrées avant 1930, et la plus récente date de 1963.



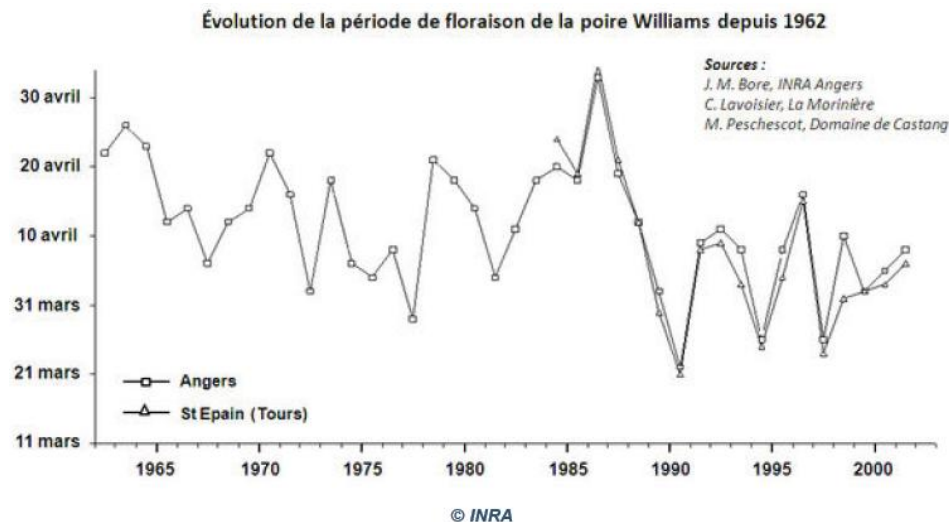
En soi, une année exceptionnellement chaude ne constitue pas un symptôme de réchauffement climatique. Prise à elle seule, l'année 2013, légèrement en dessous de la normale (-0,1 °C), pourrait témoigner d'un effet inverse. Mais l'étude des données détaillées de températures, fournies par Météo France, montre un réchauffement clairement accentué depuis plus de vingt ans. Ainsi, les dix années les plus chaudes enregistrées par l'organisme de météorologie depuis 1900 ont toutes été observées au cours des vingt-cinq dernières années. A l'inverse, les dix années les plus froides sont toutes antérieures à 1963.



La normale est la moyenne des températures relevées sur les 30 dernières années. Il s'agit d'une convention mondiale recommandée par [l'Organisation météorologique mondiale \(OMM\)](#). Constituant une période suffisamment longue pour être pertinente tout en prenant en compte les évolutions climatiques, elle sert ensuite de référence à l'ensemble des données. Les températures du début du XX^e siècle sont ainsi comparées à la normale actuelle, basée sur les relevés entre 1980 et 2010 (dernier calcul en date de la normale par Météo France). Elle fait ainsi ressortir les températures inférieures connues au cours du siècle précédent et l'augmentation progressive du début du XXI^e siècle.



Source : Le Monde



En France, les dates de semis du maïs, de la floraison des arbres fruitiers, de moissons et de vendanges sont toutes avancées de 3 à 4 semaines par rapport au climat des années 1940-1970.

On constate également une augmentation du rendement de la betterave, du degré alcoolique du vin et de la production forestière à des niveaux variables. A l'inverse, le rendement du blé stagne.

Un réchauffement climatique de plus de 2 degrés Celsius bouleverserait l'agriculture.

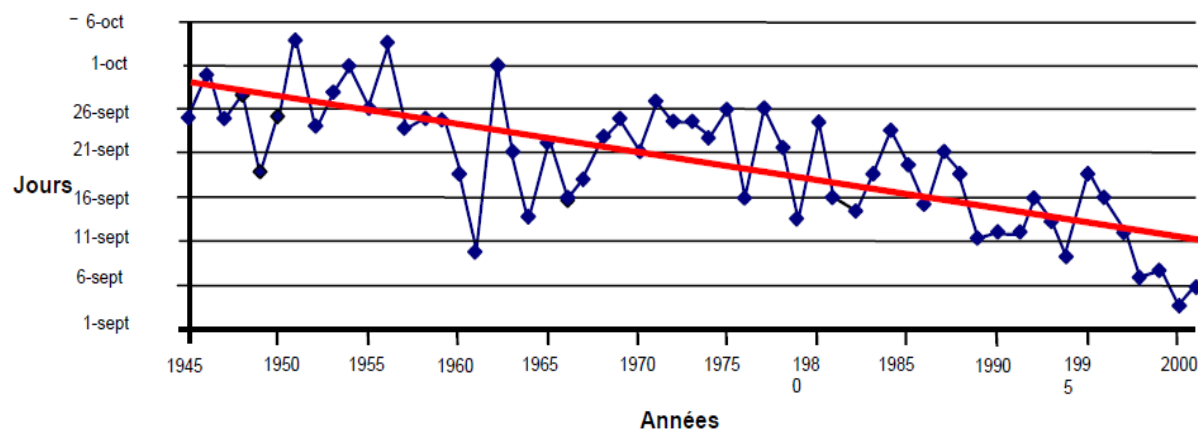


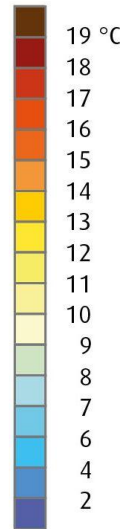
Figure 4. Évolution des dates de vendange à Châteauneuf-du-Pape (d'après Ganichot, 2002)

SIMULATIONS CLIMATIQUES À 2050 : TEMPÉRATURES

Données de référence : 1971 à 2000

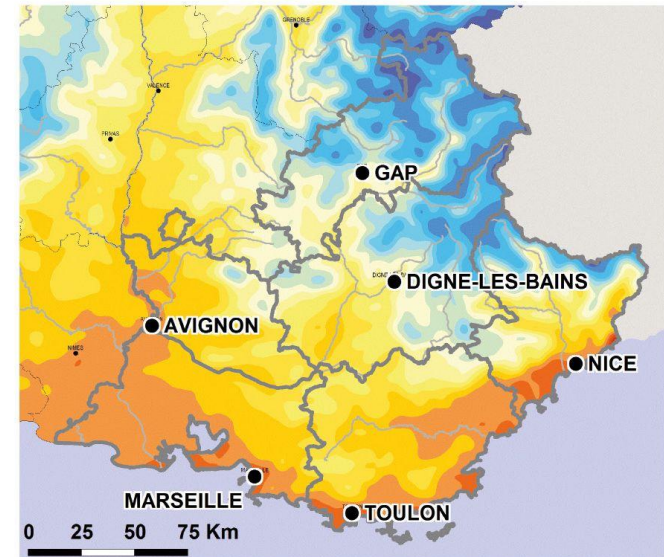


**Moyenne annuelle
des températures
moyennes journalières :
(en °C)**

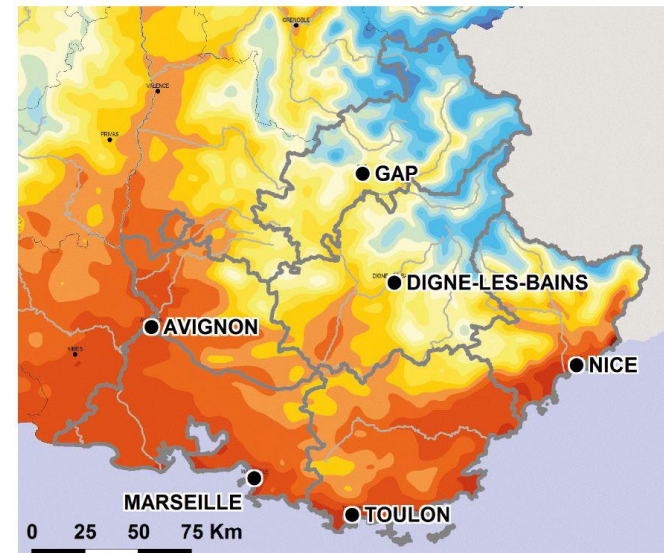
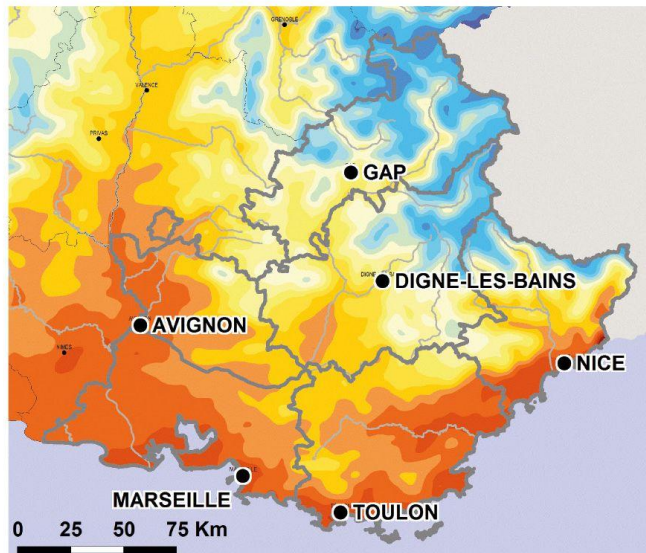


Source : Météo France
© IGN BdCarto © - © DREAL PACA Réalisation : CB - 2013

Situation de référence sur la période 1971-2000



Évolution à l'horizon 2050, en °C par rapport à la climatologie de référence sur la période 1971-2000,
pour le scénario B1 :

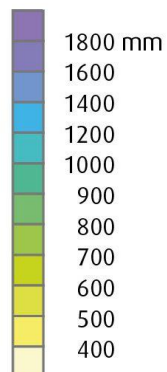


SIMULATIONS CLIMATIQUES À 2050 : PRÉCIPITATIONS

Données de référence : 1971 à 2000



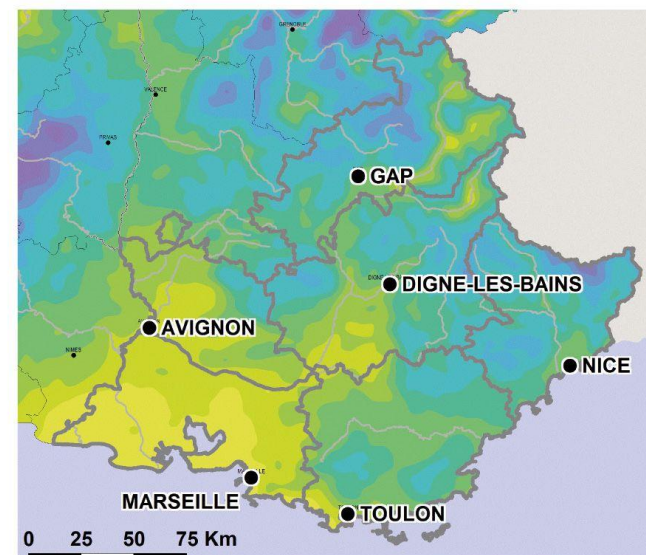
**Moyenne annuelle
des hauteurs
de précipitations :
(en millimètres)**



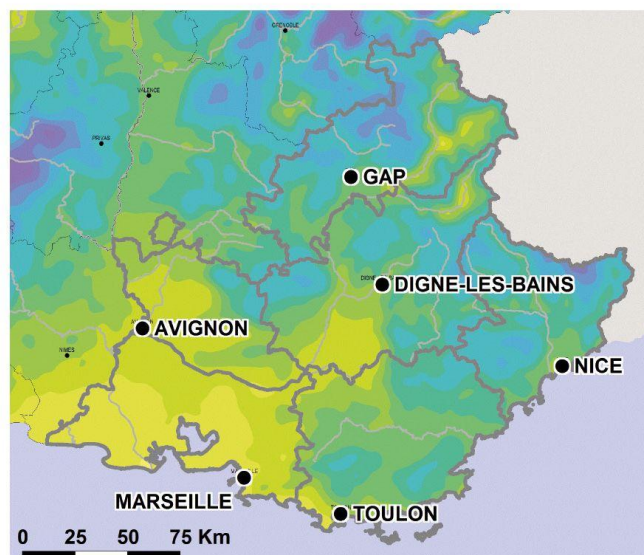
Source : Météo France

© IGN BdCarto © - © DREAL PACA Réalisation : CB - 2013

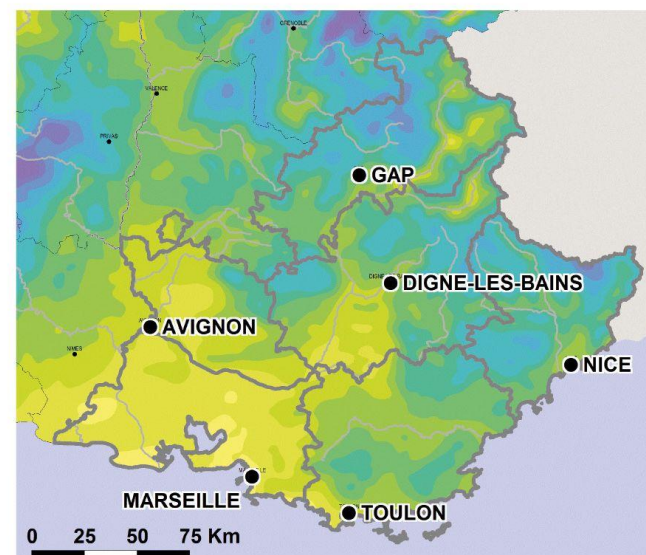
Situation de référence sur la période 1971-2000



**Évolution à l'horizon 2050 par rapport à la climatologie de référence sur la période 1971-2000,
pour le scénario B1 :**



pour le scénario A2 :



La région PACA figure parmi les moins arrosées de France, cependant des épisodes orageux intenses peuvent se produire et déverser en quelques heures plus que ce qui tombe en moyenne en un seul mois.

Ces fortes pluies provoquent alors des dégâts par ruissellement urbain ou débordements de rivières ou de fleuves : catastrophe de Vaison-la-Romaine (septembre 1992), inondations sur Marseille (septembre 2000, décembre 2003), inondations de Sainte-Maxime (septembre-octobre 2009).

Des épisodes paroxysmiques peuvent entraîner des débordements spectaculaires de la Durance (janvier 1994) ou du Rhône (octobre 1993, janvier et novembre 1994, novembre 1996, septembre et novembre 2002, décembre 2003).

Sur la carte ci-contre figure le nombre d'occurrences de pluies supérieures à 150 mm en 24 heures

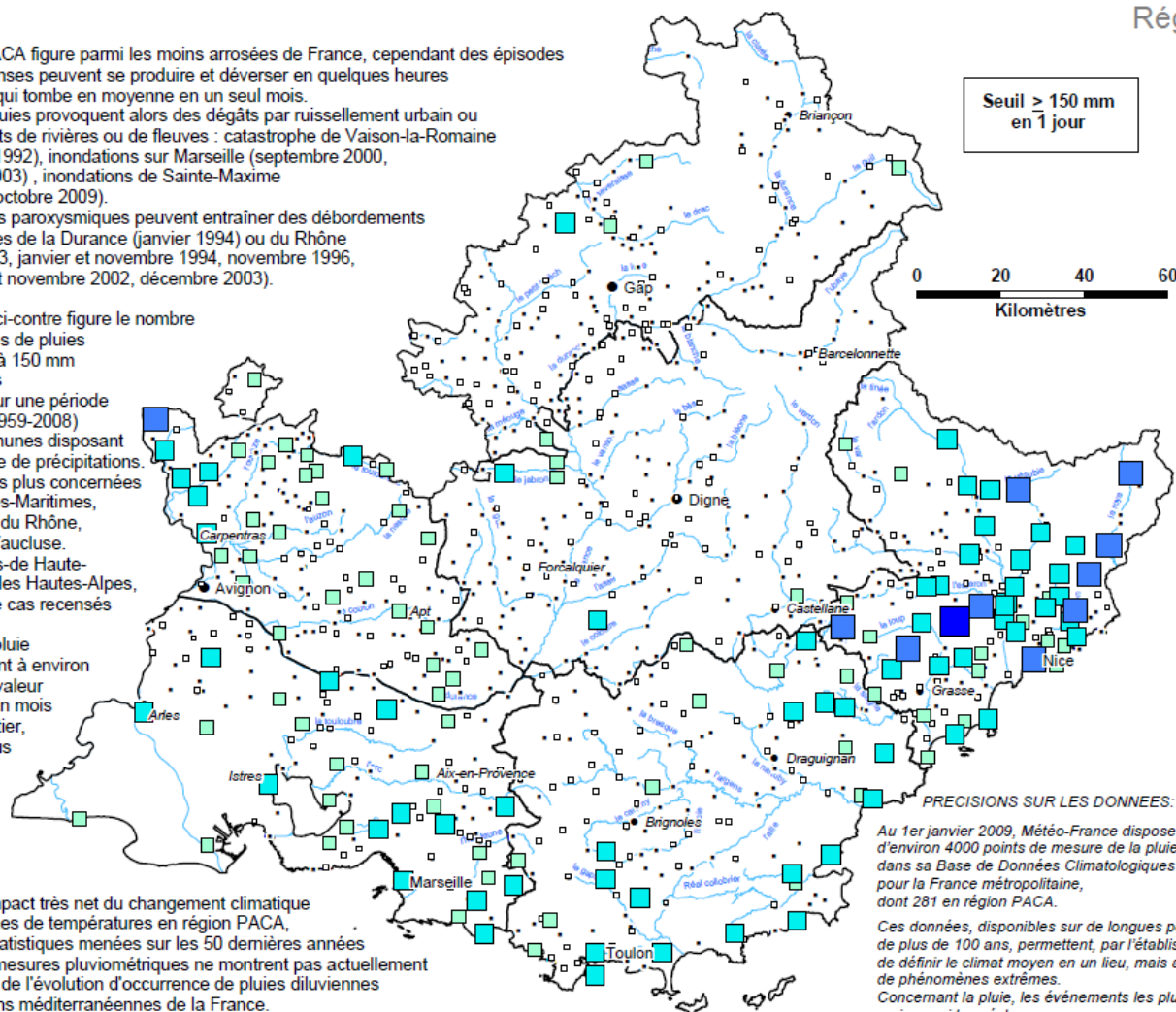
observées sur une période de 50 ans (1959-2008) sur les communes disposant d'une mesure de précipitations. Les zones les plus concernées sont les Alpes-Maritimes, les Bouches du Rhône, le Var et le Vaucluse. Sur les Alpes de Haute-Provence et les Hautes-Alpes, le nombre de cas recensés est moindre.

150 mm de pluie correspondent à environ 1 à 2 fois la valeur moyenne d'un mois d'octobre entier, le mois le plus pluvieux de l'année.

Malgré un impact très net du changement climatique sur les régimes de températures en région PACA, les études statistiques menées sur les 50 dernières années à partir des mesures pluviométriques ne montrent pas actuellement de tendance de l'évolution d'occurrence de pluies diluviennes sur les régions méditerranéennes de la France.

Ces données climatiques ("pluies extrêmes en France 1959-2008") seront accessibles en 2010 via le portail de Météo-France, sous l'onglet "Climat en France". Pour en savoir plus, consultez la rubrique sur le changement climatique : <http://climat.meteofrance.com/>

On pourra aussi consulter l'indicateur "Pluies diluviennes sur le sud-est méditerranéen de la France" disponible sur le site de l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC) : <http://www.ecologie.gouv.fr/-ONERC-.html>



Seuil > 150 mm
en 1 jour

0 20 40 60
Kilomètres

OCURRENCES CLIMATIQUES OBSERVÉES PAR COMMUNE DE PLUIES SUPÉRIEURES À 150 MM EN 1 JOUR PÉRIODE 1959-2008

- : Communes avec mesure de la pluie, sans occurrence observée de pluies ≥ 150 mm en 1 jour
- : s'est déjà produit 1 fois
- : s'est produit en moyenne moins d'1 fois tous les 10 ans
- : s'est produit en moyenne 1 fois tous les 5 à 10 ans
- : s'est produit en moyenne au moins 1 fois tous les 2 à 5 ans
- : Communes sans mesure de la pluie

- Préfecture
- Sous-préfecture
- Limites de département
- Cours d'eau

RÔLE DE L'ÉTAT

L'Etat est en charge des missions suivantes :

- Observatoire: rôle exclusif de METEO FRANCE (établissement public à caractère administratif) dans l'étude des séries climatiques (surveillance et étude du climat, ainsi que son évolution),
- Prévention et Aménagement du territoire : les données sur les épisodes pluviométriques extrêmes constituent une des données d'entrée utilisées par la DREAL et les DDI (Directions Départementales Interministérielles), pour les études d'inondabilité.

PRECISIONS SUR LES DONNÉES:
Au 1er janvier 2009, Météo-France dispose d'environ 4000 points de mesure de la pluie dans sa Base de Données Climatologiques pour la France métropolitaine, dont 281 en région PACA.

Ces données, disponibles sur de longues périodes, quelquefois de plus de 100 ans, permettent, par l'établissement de statistiques, de définir le climat moyen en un lieu, mais aussi d'étudier la récurrence de phénomènes extrêmes. Concernant la pluie, les événements les plus redoutés sont les pluies intenses mais aussi les sécheresses.

validité de la carte : janvier 2010

© METEO FRANCE - © IGN EdCarto/RGC ©
© DREAL PACA Réalisation CB (TE4c_risques_pluvio.wor)

Visitez notre site internet : www.paca.developpement-durable.gouv.fr



Exemples d'incidences anticipées en Europe

- ❖ Les changements climatiques devraient amplifier les disparités régionales en matière de ressources naturelles et de moyens économiques. Parmi les incidences négatives, on prévoit un risque croissant d'inondations éclair à l'intérieur des terres, une plus grande fréquence des inondations côtières et une érosion accrue (attribuable aux tempêtes et à l'élévation du niveau de la mer).
- ❖ Les régions montagneuses devront faire face au recul des glaciers, à la réduction de la couverture neigeuse et du tourisme hivernal ainsi qu'à la disparition de nombreuses espèces (jusqu'à 60 % d'ici 2080 dans certaines régions, selon les scénarios de fortes émissions).
- ❖ Dans le sud de l'Europe, région déjà vulnérable à la variabilité du climat, les changements climatiques devraient aggraver la situation (températures élevées et sécheresse) et nuire à l'approvisionnement en eau, au potentiel hydroélectrique, au tourisme estival et, en général, aux rendements agricoles.

	Températures			Précipitations		
	Année	Hiver	Été	Année	Hiver	Été
Scénario optimiste	2° à 2,5°	1,5° à 2°	2,5° à 3,5°	-5% à 0	0 à +10%	-25% à -5%
Scénario pessimiste	3° à 3,5°	2,5° à 3°	4° à 5°	-10% à 0	+5% à +20%	-35% à -20%

Tableau 1. Valeurs typiques moyennées sur la France entre la période 1960-1989 et la période 2070-2099 pour les scénarios B₁ optimiste, et A₁ pessimiste (d'après Planton, 2005)

Les impacts sectoriels des changements climatiques en PACA

Source : CG06

Tourisme

- conditions touristiques estivales : pas de sensibilité actuelle
- contexte hivernal : sensibilité plus forte avec des problèmes de fiabilité d'enneigement des stations de moyenne montagne (d'ici 2030, la profondeur du manteau neigeux devrait diminuer de 20 à 30% dans les Alpes du Sud).

Conséquences: allongement de la saison estivale, développement du tourisme rural, nécessité d'ajuster l'offre touristique, surtout pour certaines stations de ski (diversification en moyenne montagne, gestion d'une pression accentuée en haute montagne). Crainte des professionnels du tourisme : le réchauffement du nord de l'Europe encouragera les habitants à y demeurer l'été. La saison touristique sur le bassin méditerranéen serait décalée vers le printemps et l'automne.

Ressources en eau

- Dans un contexte de pression croissante des utilisateurs, diminution de la ressource déjà constatée en été et problèmes de qualité accentués par les faibles débits d'été.
- Succession de plusieurs années avec des apports hydrologiques faibles.

Conséquences : forte sensibilité face au changement climatique, possibilité de conflits d'usage (quantité), facteur climatique = facteur aggravant des pollutions avec risque de salinisation des eaux souterraines sur la zone littorale sur le long terme (qualité).

Agriculture

Dépendance à l'irrigation accrue constatée du fait de la multiplication des épisodes de sécheresse, ainsi qu'une modification déjà significative des cycles de production de cultures particulièrement sensibles aux changements de températures (arboriculture fruitière par exemple).

Biodiversité

Biodiversité très riche (terrestre et aquatique) déjà perturbée par de récents épisodes de réchauffement, notamment sur les espèces aquatiques ; des espèces terrestres sont déjà en limite d'aires de répartition.

Conséquence : forte sensibilité au changement climatique = déclin possible d'espèces, destruction des milieux à cause des incendies...

*Changement climatique, rôle important dans la perte de biodiversité : en raison du réchauffement **des eaux côtières de surface en Méditerranée nord-occidentale (1°C entre 1974 et 2004) et des eaux profondes (0,12°C en 40 ans)**, on estime que **99 espèces de poissons, 63 espèces de crustacés et 137 espèces de mollusques exotiques se sont récemment installées en Méditerranée**, soit en passant par le canal de Suez ou le détroit de Gibraltar, soit par introduction accidentelle ou intentionnelle (<http://www.cybelle-planete.org>)*

Avec un réchauffement de la mer Méditerranée de 3,1°C d'ici à la fin du 21ème siècle (prévision)**, les conséquences sont encore mal déterminées, mais **l'apparition et l'adaptation d'espèces exotiques parfois invasives en zones tempérées est très probable, avec une mortalité massive de certaines espèces de gorgones* et éponges.



La forêt

Forte sensibilité de la forêt en PACA déjà affectée de manière significative par les récents événements climatiques et notamment par les sécheresses prolongées à répétition ; dépérissement et migration d'espèces déjà constatés (pins sylvestre et sapins par exemple) ; vulnérabilité accrue due au risque d'incendies.

Le risque de dépérissement et de migration d'espèces végétales est fort. Ce risque est accentué par la pollution photochimique à l'ozone, polluant atmosphérique majeur de la région PACA et dont les effets sur les pins d'altitude sont reconnus. L'impact des parasites sera aussi accentué.

La santé

Sensibilité aux périodes de forte chaleur (vieillesse de la population) et à la pollution industrielle et urbaine ; certaines zones représentent un terrain potentiellement propice au développement de maladies (Camargue, Crau...).

**animaux pluricellulaires coloniaux dotés de branches ramifiées*

Anticiper le changement climatique avec les scénarios régionalisés du projet DRIAS

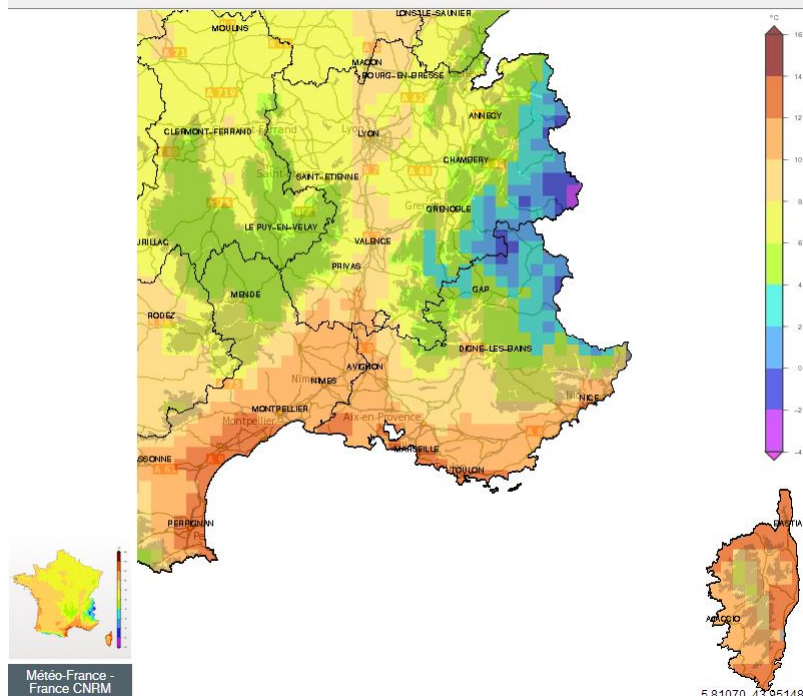
25

Le projet DRIAS a pour vocation de mettre à disposition des projections climatiques régionalisées réalisées dans les laboratoires français de modélisation du climat (IPSL, CERFACS, CNRM-GAME).
Météo-France assure sa coordination et sa mise en œuvre technique

DRIAS Donner accès aux scénarios climatiques Régionalisés français pour l'Impact et l'Adaptation de nos Sociétés et Environnements.

co-financement : programme Gestion et Impact du Changement Climatique (GICC) du Ministère du Développement Durable (MEDDE), est un des éléments de la stratégie d'adaptation nationale.

Température minimale quotidienne
pour le Scénario d'évolution socio-économique intermédiaire (A1B)
Horizon proche (années 2035) - Moyenne annuelle
Expérience : Météo-France/SCAMPEI - France CNRM : modèle Aladin de Météo-France



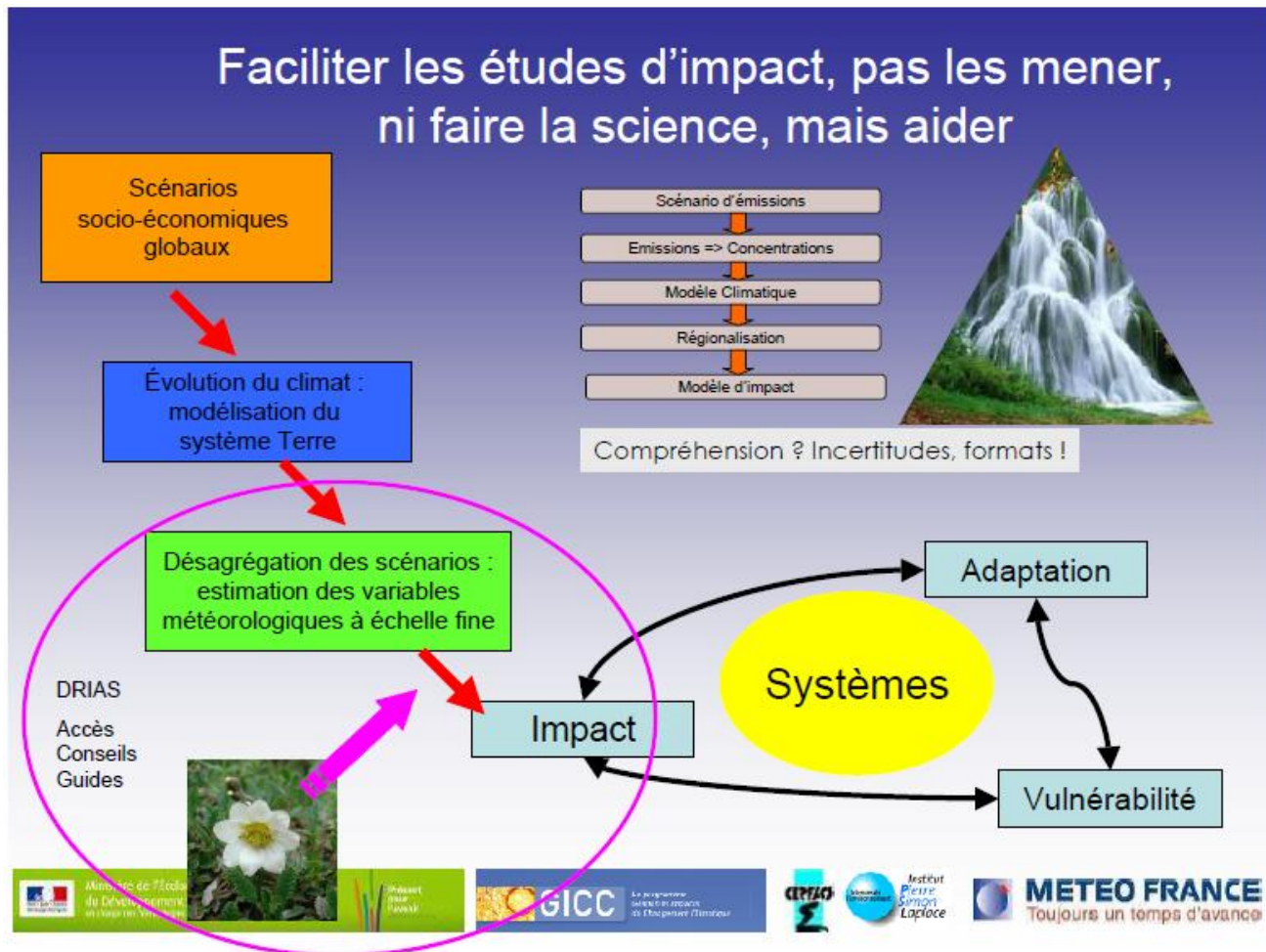
IPSL : Institut Pierre Simon Laplace

CERFACS : Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique

CNRM : Centre National de Recherches Météorologiques

Anticiper le changement climatique avec les scénarios régionalisés du projet DRIAS

26



Anticiper le changement climatique avec les scénarios régionalisés du projet DRIAS

27

Le portail DRIAS met à disposition des données et un service d'accompagnement pour étudier l'impact du changement climatique et aider les décideurs à prendre des mesures d'adaptation. DRIAS :

- ✓ simplifie l'accès et l'utilisation d'informations relatives aux projections climatiques régionalisées françaises
- ✓ facilite le lien entre les utilisateurs et les chercheurs
- ✓ contribue à valoriser le travail de recherche et à harmoniser les productions des groupes français de modélisation.

Sa création résulte de l'application du [Plan National d'Adaptation au Changement Climatique](#) (2011) qui a été voulue par le [Ministère du Développement Durable](#) (MEDDE), les laboratoires de modélisation climatique français et Météo-France. L'[Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique](#) (ONERC) a également contribué à sa création.

Quelles informations ?

Jusqu'à présent, des données numériques (données corrigées par rapport à l'observation) et des cartes (indices climatiques) issues de la modélisation utilisant les scénarios d'évolution socio-économique (A1B, A2, B1...) du rapport du GIEC de 2007 étaient disponibles.

Climat passé et présent 1950-2000 et climat futur (2001-2100) : températures, précipitations, humidité, évapotranspiration...

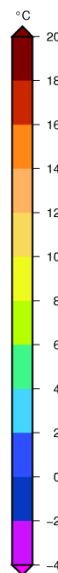
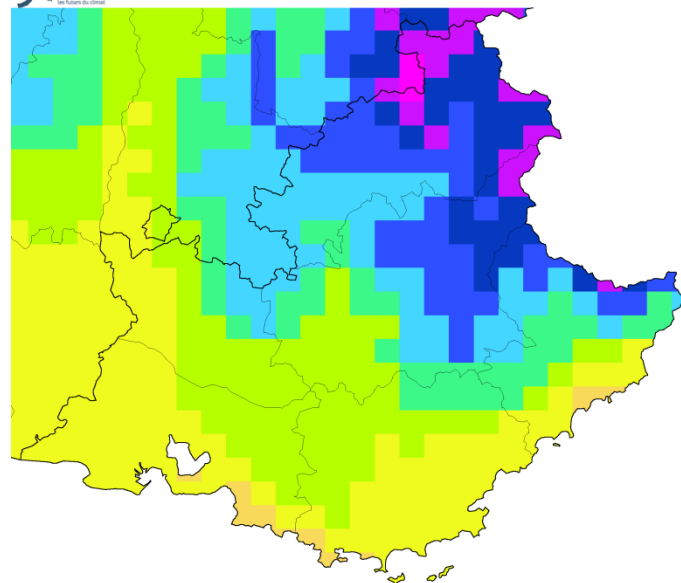
Depuis août 2014, les informations climatiques produites par les modèles climatiques régionaux Aladin-Climat (1950-2100, scénarios : RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) et WRF (1971-2100, scénarios : RCP4.5, RCP8.5) sont mises en ligne. Ces nouvelles projections climatiques à 8 km de résolution spatiale en PACA sont basées sur les scénarios d'émissions du dernier rapport du GIEC.

Simulation de la Température minimale quotidienne

pour le Scénario d'évolution socio-économique optimiste (B1)

Horizon proche (années 2035) – Moyenne des mois d'avril

Expérience : CERFACS/SCRATCH08 – France CNRM : modèle Arpege-V4.6 étiré de Météo-France

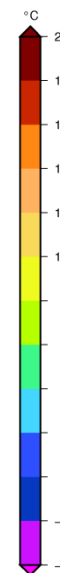
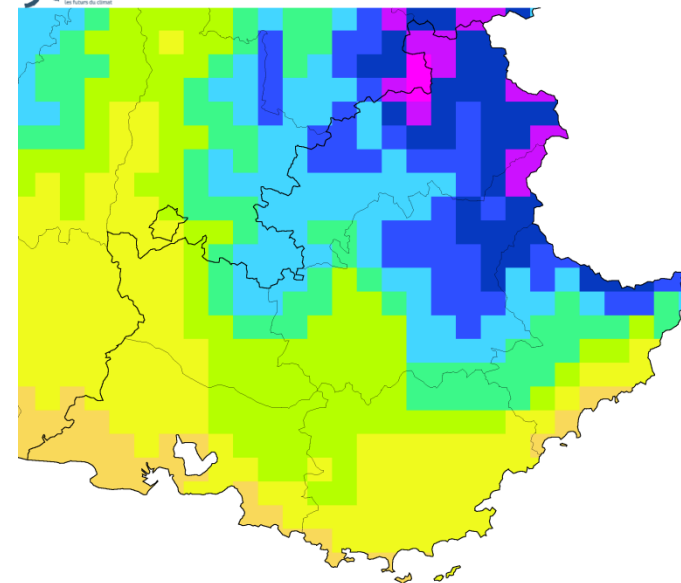


Simulation de la Température minimale quotidienne

pour le Scénario d'évolution socio-économique pessimiste (A2)

Horizon proche (années 2035) – Moyenne des mois d'avril

Expérience : CERFACS/SCRATCH08 – France CNRM : modèle Arpege-V4.6 étiré de Météo-France

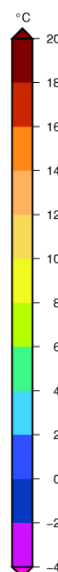
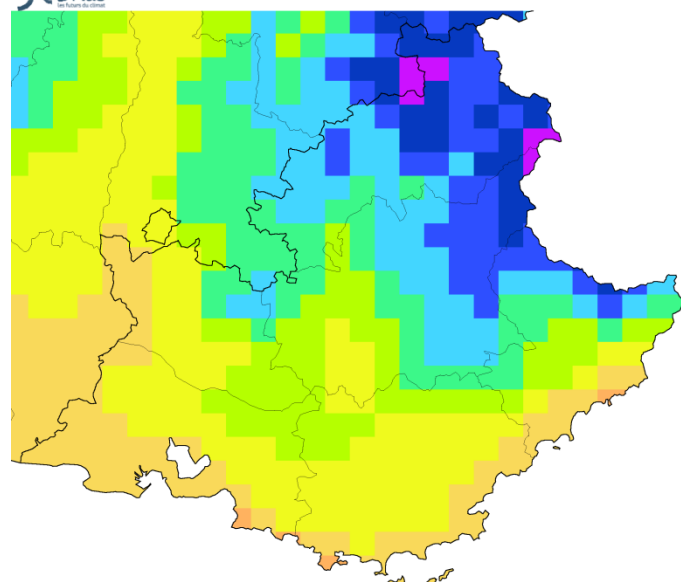


Simulation de la Température minimale quotidienne

pour le Scénario d'évolution socio-économique optimiste (B1)

Horizon lointain (années 2085) – Moyenne des mois d'avril

Expérience : CERFACS/SCRATCH08 – France CNRM : modèle Arpege-V4.6 étiré de Météo-France

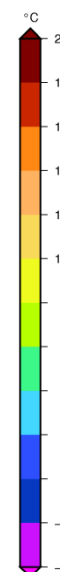
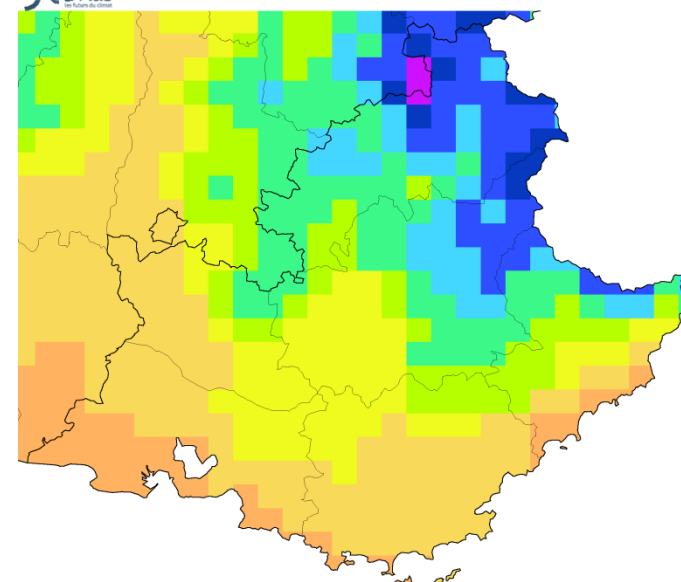


Simulation de la Température minimale quotidienne

pour le Scénario d'évolution socio-économique pessimiste (A2)

Horizon lointain (années 2085) – Moyenne des mois d'avril

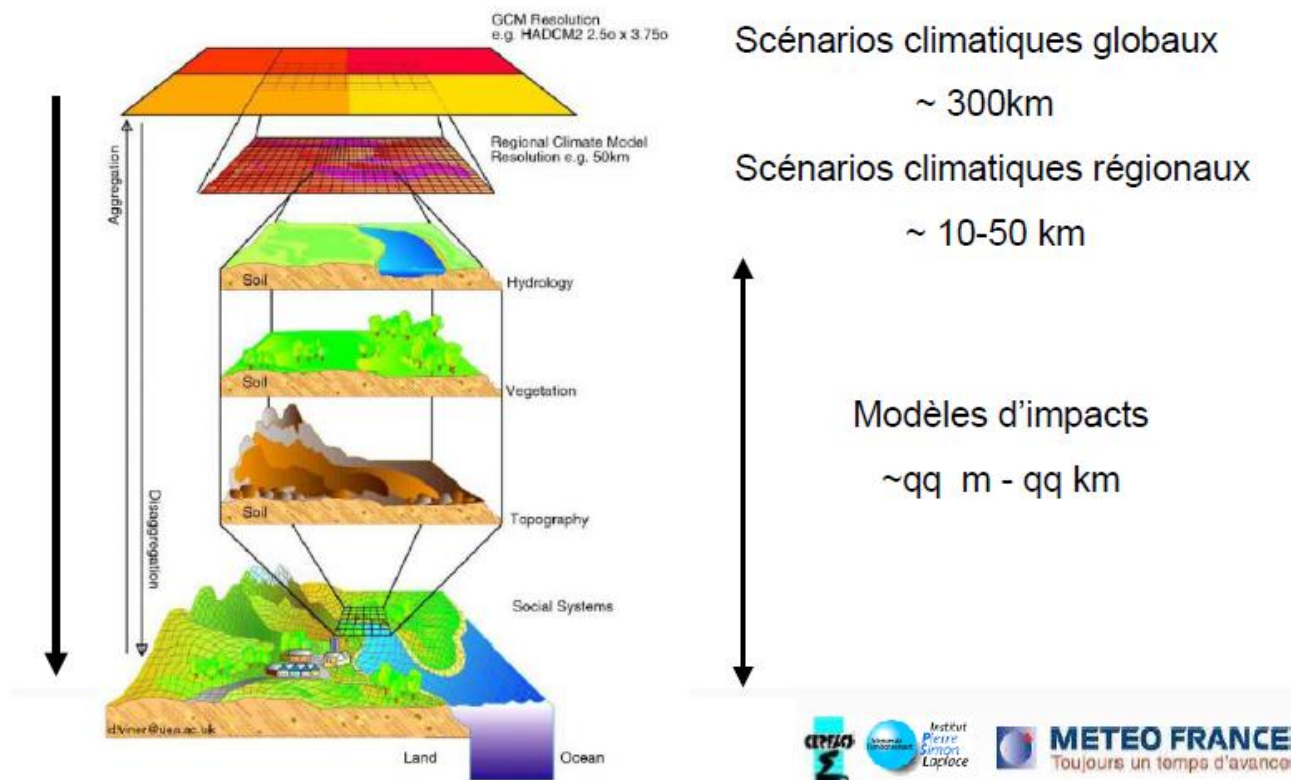
Expérience : CERFACS/SCRATCH08 – France CNRM : modèle Arpege-V4.6 étiré de Météo-France



De l'information globale à l'information locale

30

La nécessité d'une descente d'échelle



Les simulations climatiques produites par des modèles numériques ont une résolution spatiale spécifique (plusieurs dizaines de km). La résolution spatiale des simulations peut être affinée (jusqu'à 8 km dans le cas des données corrigées disponibles sur le portail DRIAS) à l'aide de méthodes de descentes d'échelles (correction quantile-quantile ou méthode de régionalisation statistique). Ces opérations n'améliorent pas la prise en compte de processus physiques d'échelle fine. La représentation de la dynamique atmosphérique demeure celle de la grille native du modèle.

Choisir la méthode de désagrégation adaptée à l'application étudiée

En ce qui concerne les méthodes de descente d'échelle, il n'existe pas de méthode universelle. Selon le type d'application, on propose des scénarios désagregés pour telle ou telle méthode.

L'approche dynamique est très coûteuse en temps de calcul et l'approche statistique s'avère intéressante, selon le domaine et le paramètre étudié, sous réserve de disposer de données observées homogènes sur une période suffisamment longue. L'approche statistique est conseillée pour des paramètres élaborés et pour disposer d'informations locales.

Pour l'étude du climat des Alpes du Sud, une alternative est proposée.

Projet « Prospective climatique dans l'Embrunais » *et plus largement dans les Alpes du Sud...*

32

Un constat : la cartographie du climat actuel n'est pas disponible à haute résolution spatiale et les projections climatiques sont fournies à basse résolution spatiale (données DRIAS, 8 km), ce qui est insuffisant pour évaluer l'impact du changement climatique dans les territoires alpins.

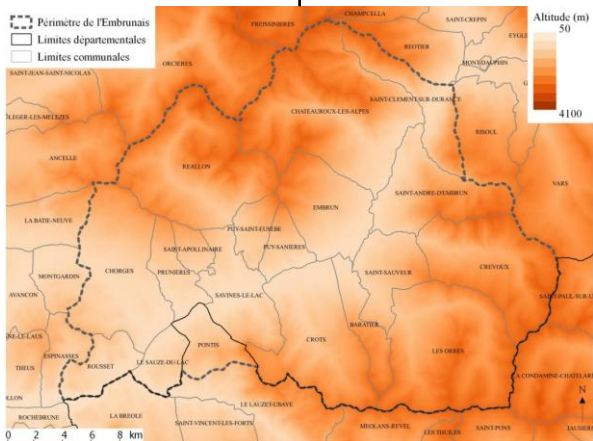
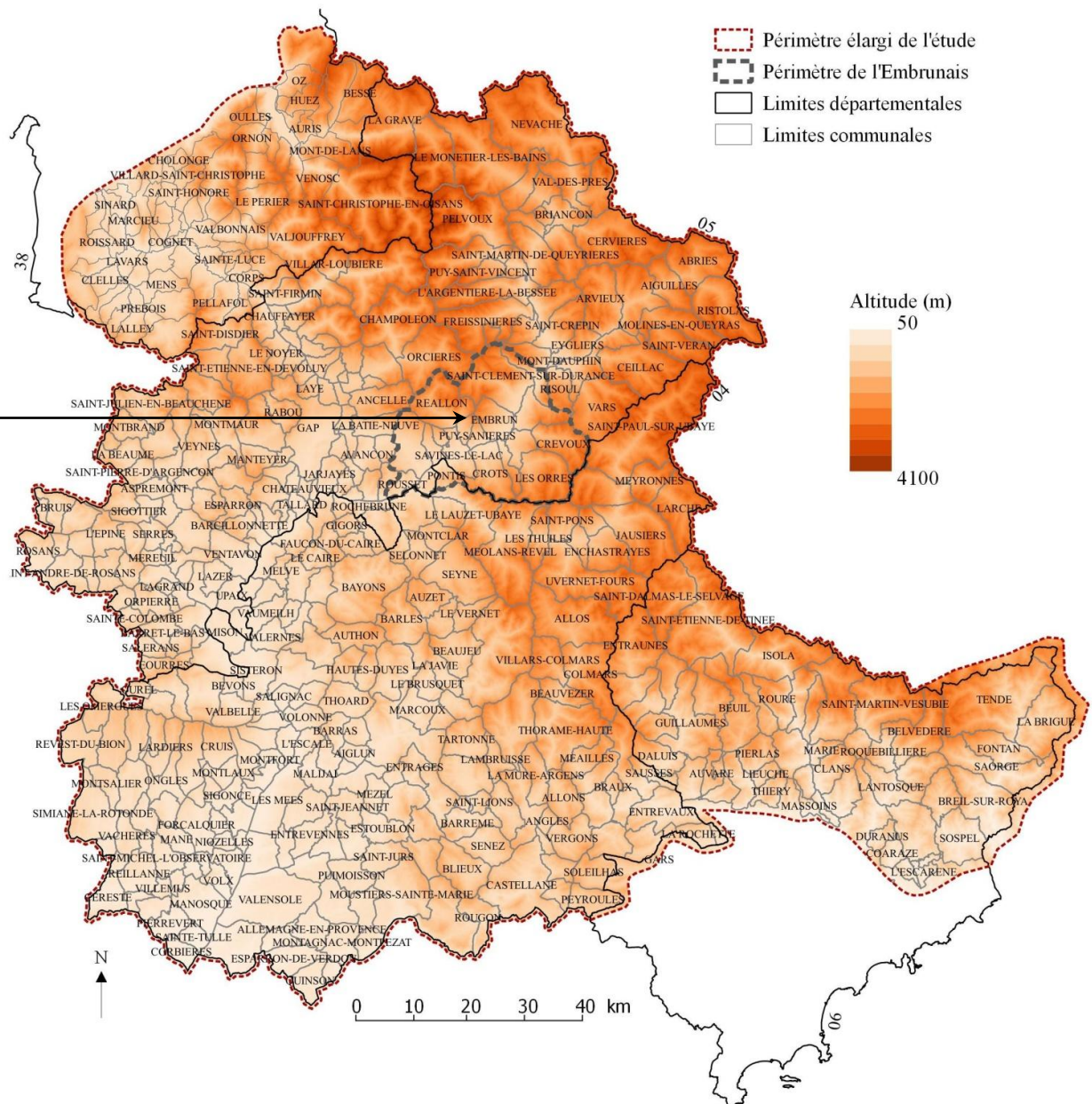
Objectifs du projet : mieux connaître le climat local à fine échelle spatiale et anticiper le dérèglement climatique (horizons 2016-2035, 2036-2055) dans l'Embrunais pour fournir des indicateurs climatiques, faciliter la prise de décision et adapter les activités : tourisme, gestion des paysages et des forêts, préservation de la biodiversité, agriculture... Les résultats cartographiques ne couvrent pas seulement l'Embrunais : Hautes-Alpes et Alpes-de-Haute-Provence, mais aussi partiellement Alpes-Maritimes et l'Isère.

L'étude privilégie les horizons 2016-2035 et 2036-2055 pour apporter des éléments de réflexion pour l'analyse prospective sur 40 ans, mais la méthode est applicable pour produire des résultats à des horizons plus lointains (2085, par exemple).

Partenariat : commune des Orres, Maison de la météo (SEMLORE) et GeographR. Un soutien financier de la Région PACA à hauteur de 80%.

Projet « Prospective climatique dans l'Embrunais » : une large couverture cartographique

507 communes au total
réparties sur 4
départements, dont 430 en
PACA



Projet « Prospective climatique dans l'Embrunais » : résultats disponibles

Pour les températures minimales, maximales et moyennes de l'air

- cartographie des moyennes mensuelles, saisonnières et annuelles des températures minimales, maximales et moyennes sur la période 1991-2010
- cartographie des moyennes mensuelles, saisonnières et annuelles des températures minimales, maximales et moyennes sur la période 2016-2035 : RCP 2.6, RCP 4.5 et RCP 8.5 du modèle ALADIN-CNRM
- cartographie des moyennes mensuelles, saisonnières et annuelles des températures minimales, maximales et moyennes sur la période 2036-2055 : RCP 2.6, RCP 4.5 et RCP 8.5 du modèle ALADIN-CNRM
- cartographie des moyennes décennales des températures minimales, maximales et moyennes sur la période 1991-2010

Pour les précipitations

- cartographie des moyennes saisonnières et annuelles des précipitations sur la période 1991-2010
- cartographie des moyennes saisonnières et annuelles des précipitations sur la période 2016-2035 : RCP 2.6, RCP 4.5 et RCP 8.5 du modèle ALADIN-CNRM
- cartographie des moyennes saisonnières et annuelles des précipitations sur la période 2036-2055 : RCP 2.6, RCP 4.5 et RCP 8.5 du modèle ALADIN-CNRM

⇒ Au total, 1165 cartes

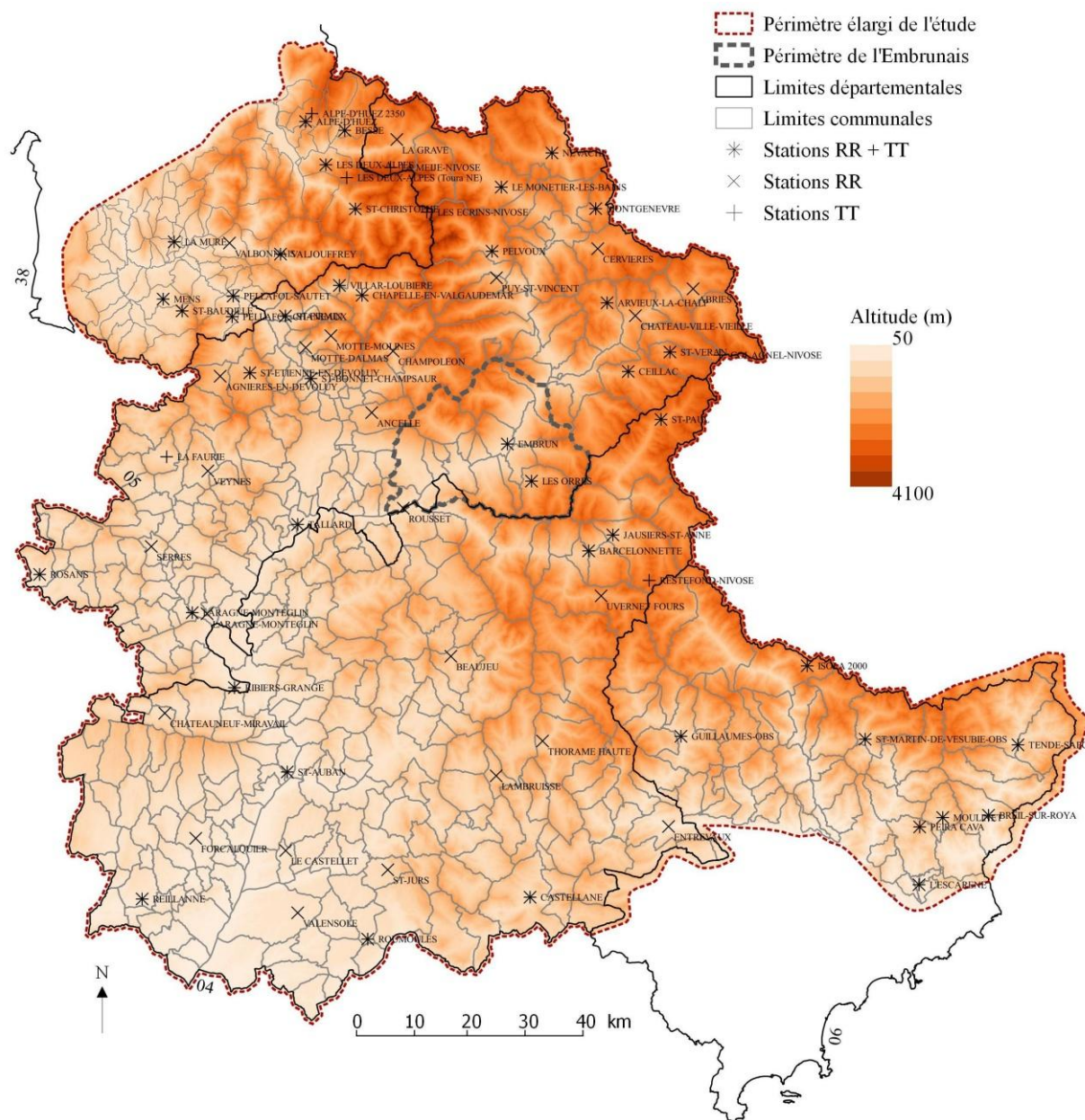
La méthode d'interpolation spatiale LISDQS

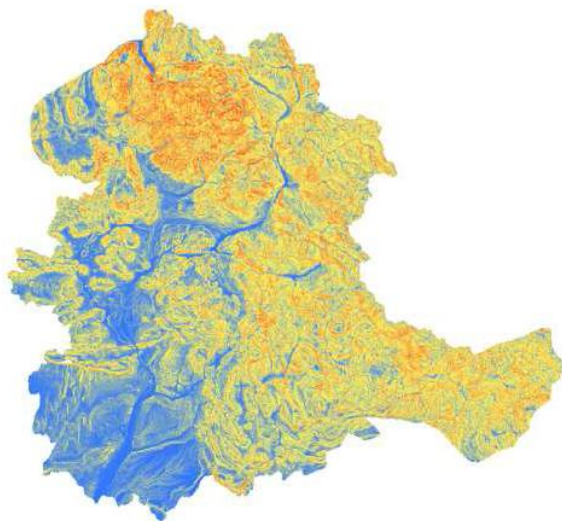
Une méthode géostatistique qui permet de reconstituer des variables quantitatives (températures de l'air, pluviométrie, ozone, particules en suspension...) à haute et très haute résolution spatiale $\Rightarrow$ 200, 100, 50... mètres.

Un logiciel développé par le laboratoire ThéMA (CNRS, Université de Besançon) en partenariat avec Météo-France.

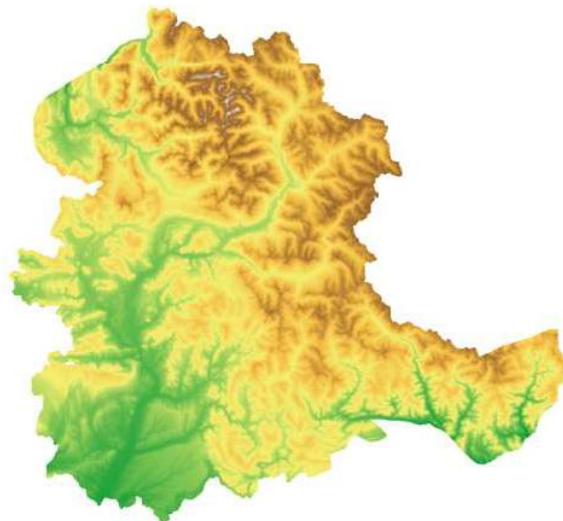
Une méthode fiable utilisée pour des études agrométéorologiques (CIRAME, Institut Français de la Vigne), de qualité de l'air Atmo Franche-Comté, Air PACA), des travaux académiques (biogéographie au Svalbard, pluviométrie du bassin amazonien...).

Le réseau de stations météorologiques 1991-2010 (climat de référence)

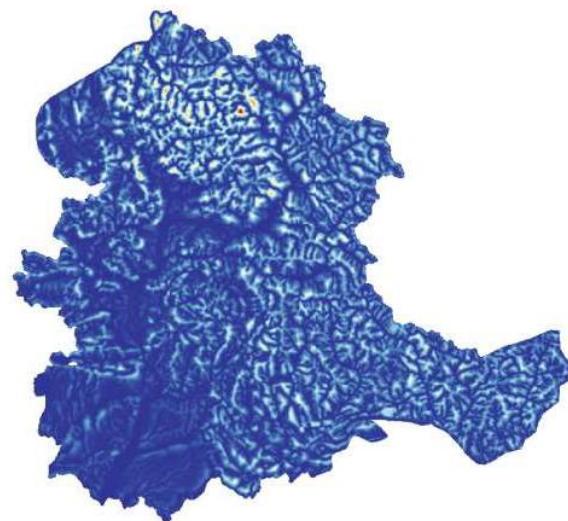




Pente



Altitude



Amplitude des bosses



Amplitude des creux

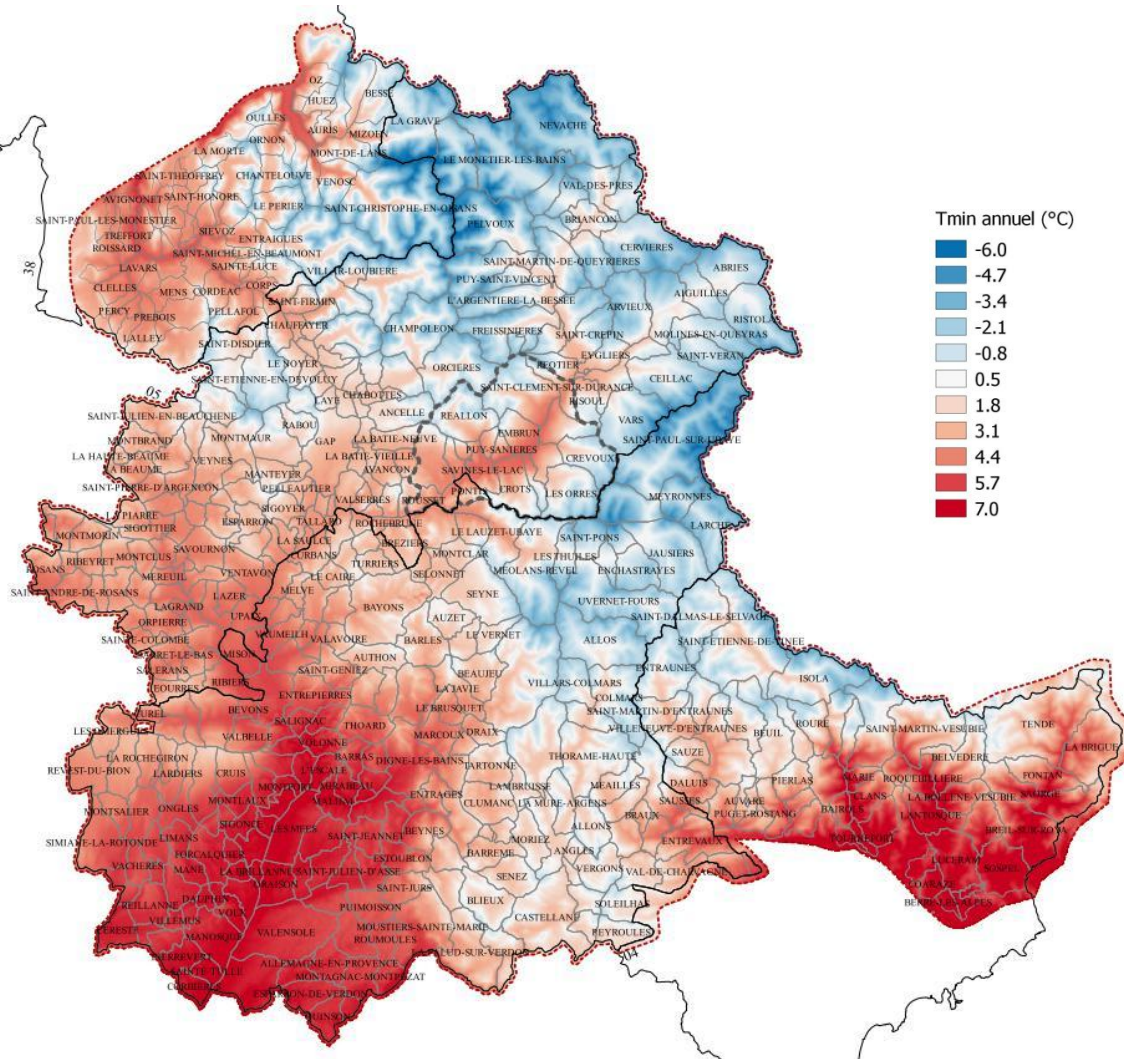


Rugosité

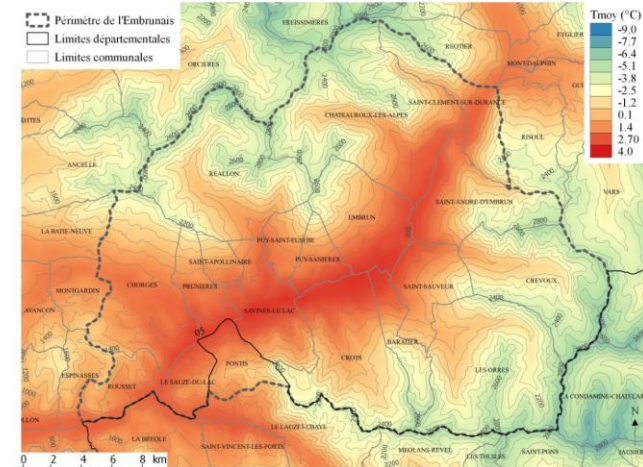
etc...

Au total, 13 variables
explicatives intégrées à
LISDQS + variables
fenêtrées

Le climat présent dans les Alpes du Sud (exemples de cartes)



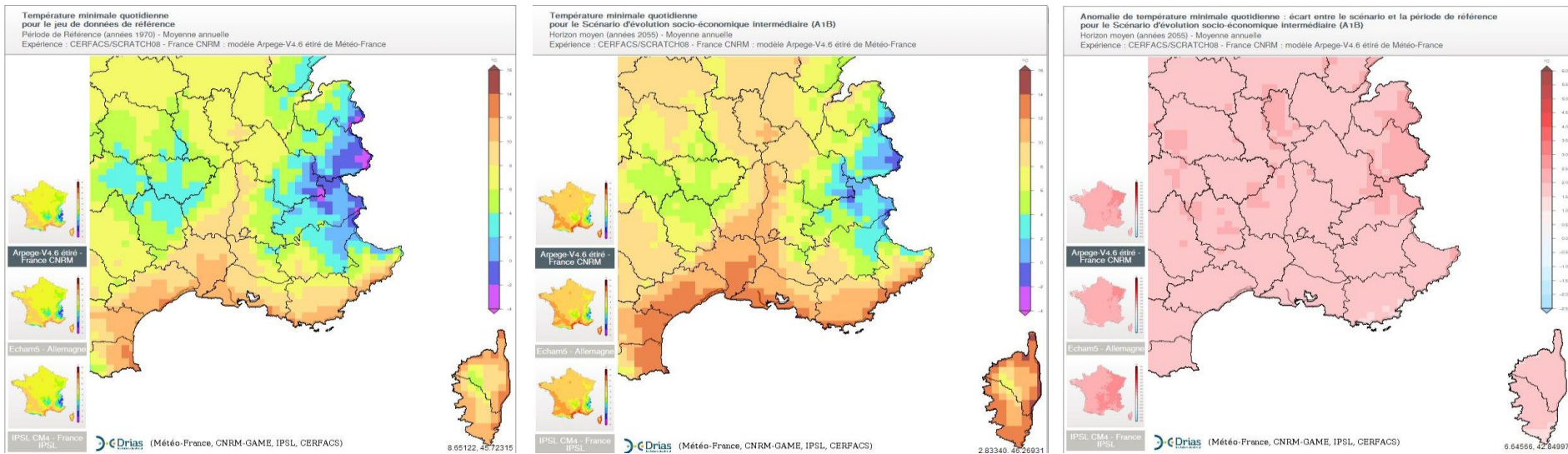
Tmin moyenne annuelle 1991-2010



Moyenne saisonnière hivernale (décembre-février) des températures moyennes dans l'Embrunais (°C)

La méthodologie d'interpolation spatiale pour le climat futur

Pour l'étude, les anomalies spatialisées des températures de l'air et des précipitations sont appliquées aux cartes du climat actuel afin de définir le climat futur à fine échelle spatiale aux horizons 2016-2035 et 2036-2055 : Tmin, Tmax, Tmoy au pas mensuel, saisonnier et annuel + RR au pas saisonnier et annuel.



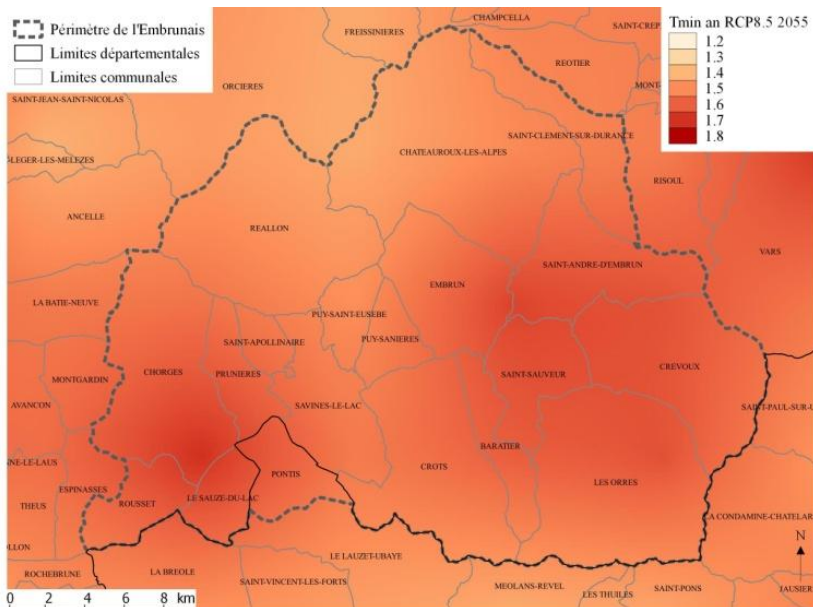
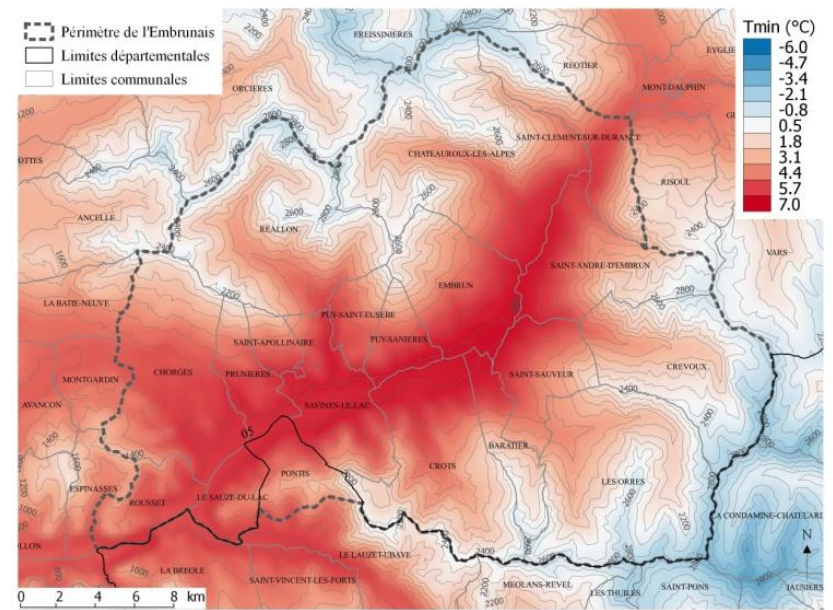
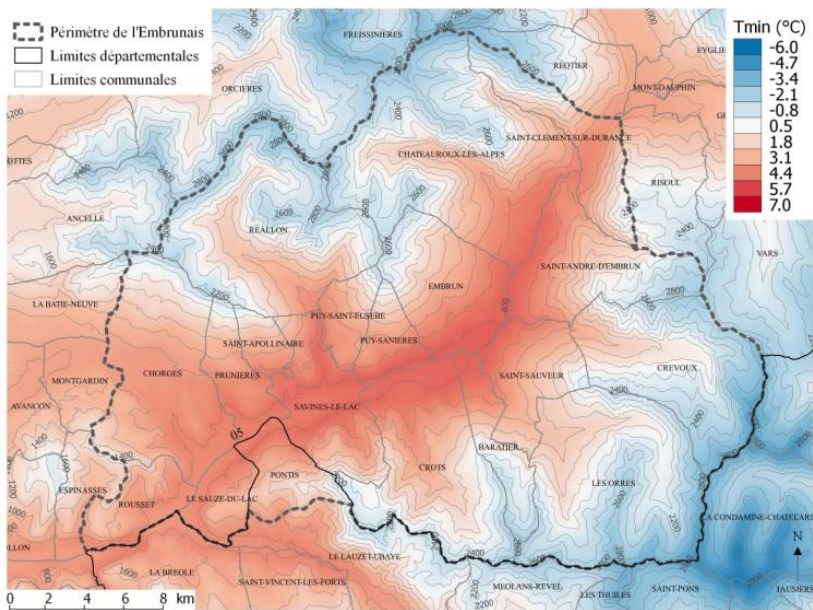
Les données des modèles (ne correspond pas au climat réel) et les données locales spatialisées sont bien différenciées.

Le climat futur dans les Alpes du Sud

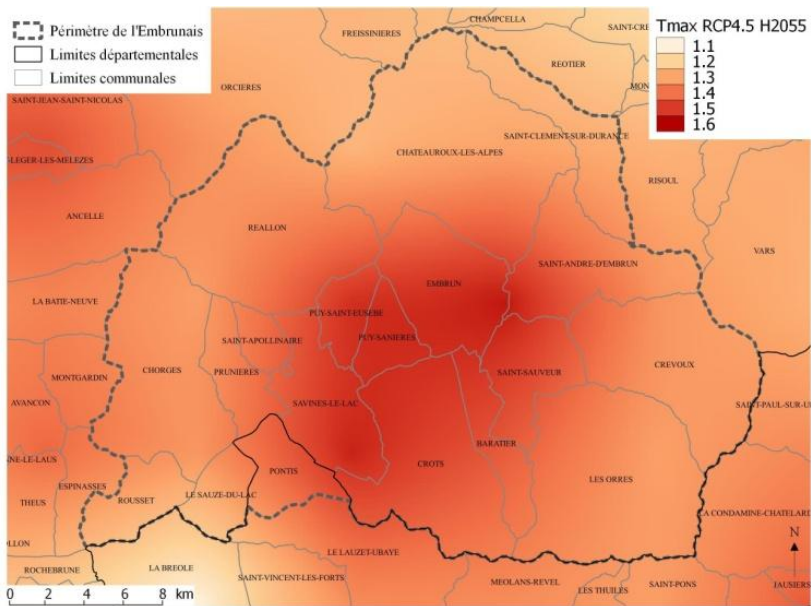
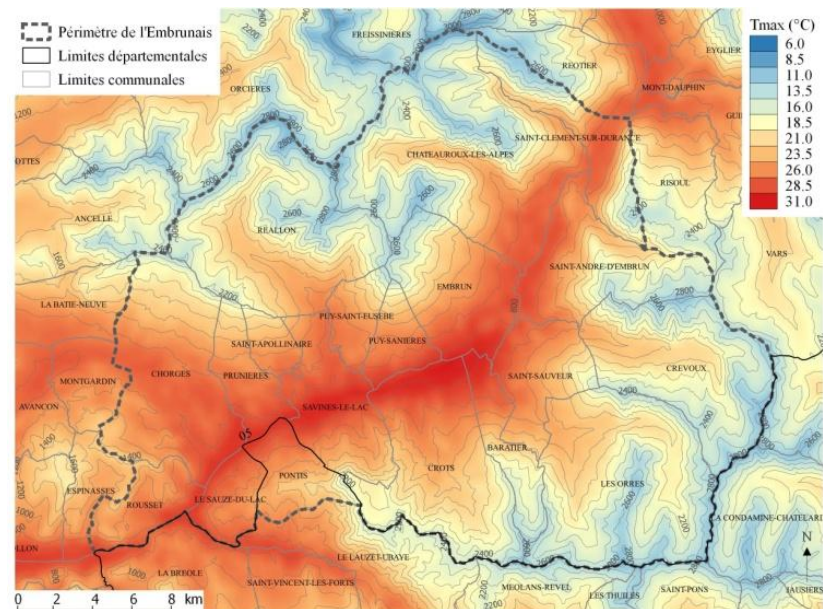
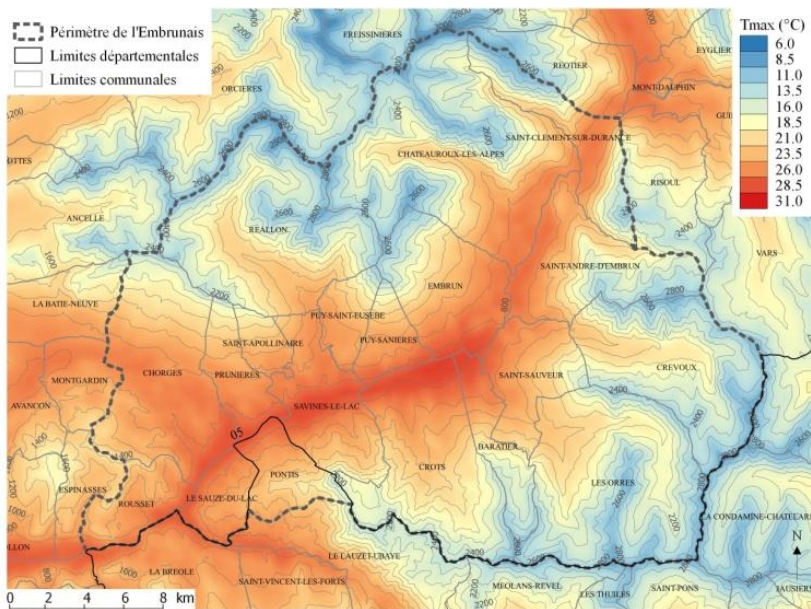


Exemples de cartes :

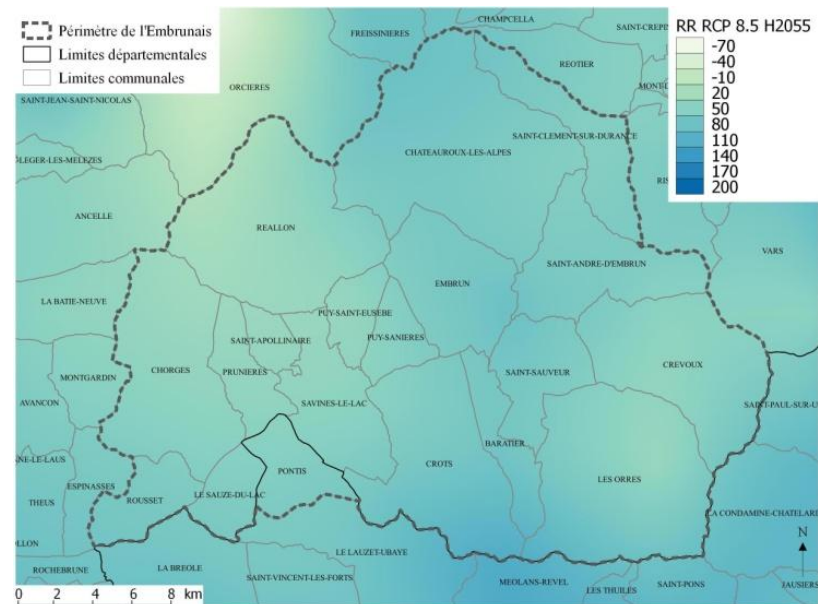
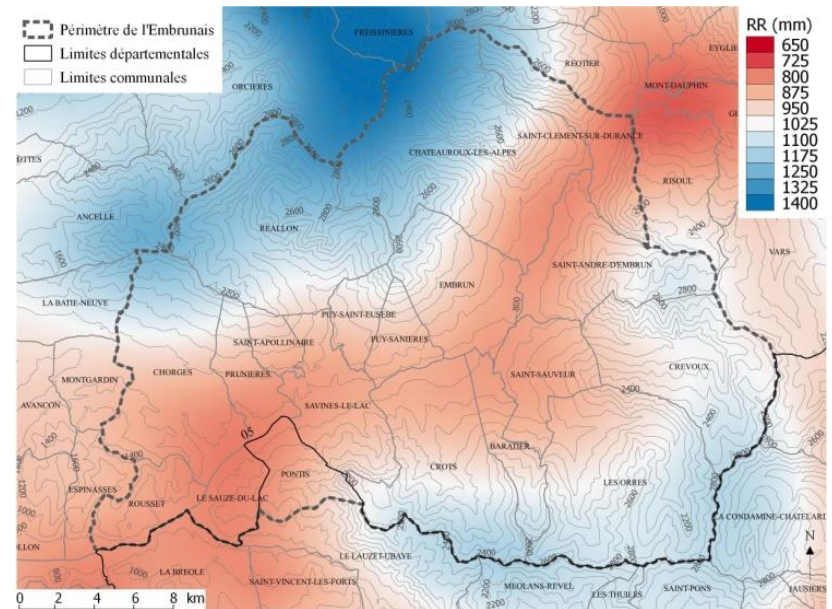
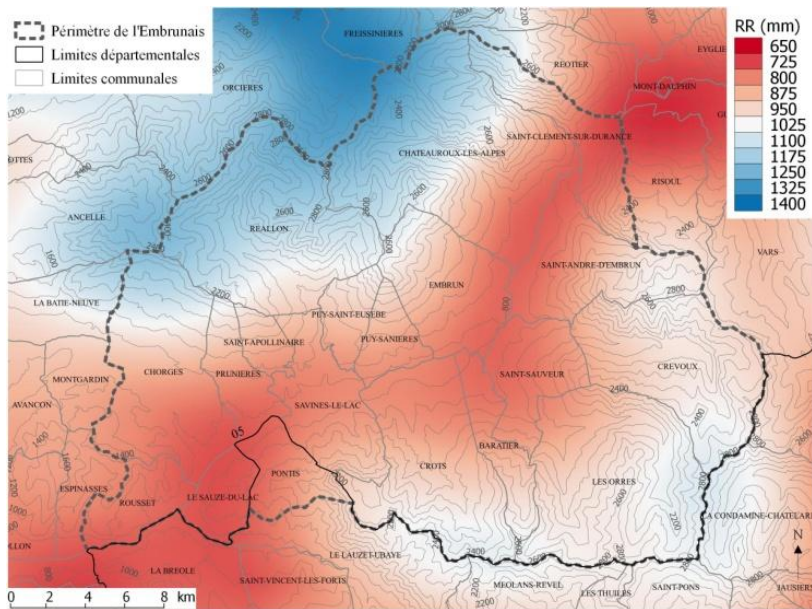
- températures à 100 m de résolution spatiale
- précipitations à 1000 m de résolution spatiale



Moyennes annuelles des températures de l'air minimales (°C) : 1991-2010 (en haut, à gauche), 2036-2055 RCP 8.5 (en haut, à droite), anomalies (en bas)



Moyennes des températures
 maximales de l'air en été (°C) :
 1991-2010 (en haut, à gauche),
 2036-2055 RCP 4.5 (en haut, à
 droite), anomalies (en bas)



Cumuls moyens des précipitations (mm) : 1991-2010 (en haut, à gauche), 2036-2055 RCP 8.5 (en haut, à droite), anomalies (en bas)

Le climat futur dans l'Embrunais

44

La cartographie met en évidence l'augmentation générale des températures minimales, maximales et moyennes, même si l'hétérogénéité des anomalies peut varier selon le pas de temps.

Globalement, l'impact du changement climatique affecte davantage les températures minimales de l'air avec une augmentation légèrement plus marquée.

D'une manière générale, les incertitudes sur les précipitations sont plus grandes que pour les températures de l'air, car les évolutions sont moins homogènes et les RCP convergent moins. Les cumuls annuels des précipitations évoluent surtout à l'horizon 2036-2055, tandis que les évolutions saisonnières sont plus contrastées avec des étés plus humides en 2016-2035 et 2036-2055, et une tendance est à la baisse en hiver, sauf pour le RCP 4.5 (stabilité des cumuls).

La variabilité naturelle du climat et le forçage du modèle ALADIN-Climat selon les RCP jouent aussi un rôle déterminant pour le cumul des précipitations à l'échelle du territoire de l'Embrunais.

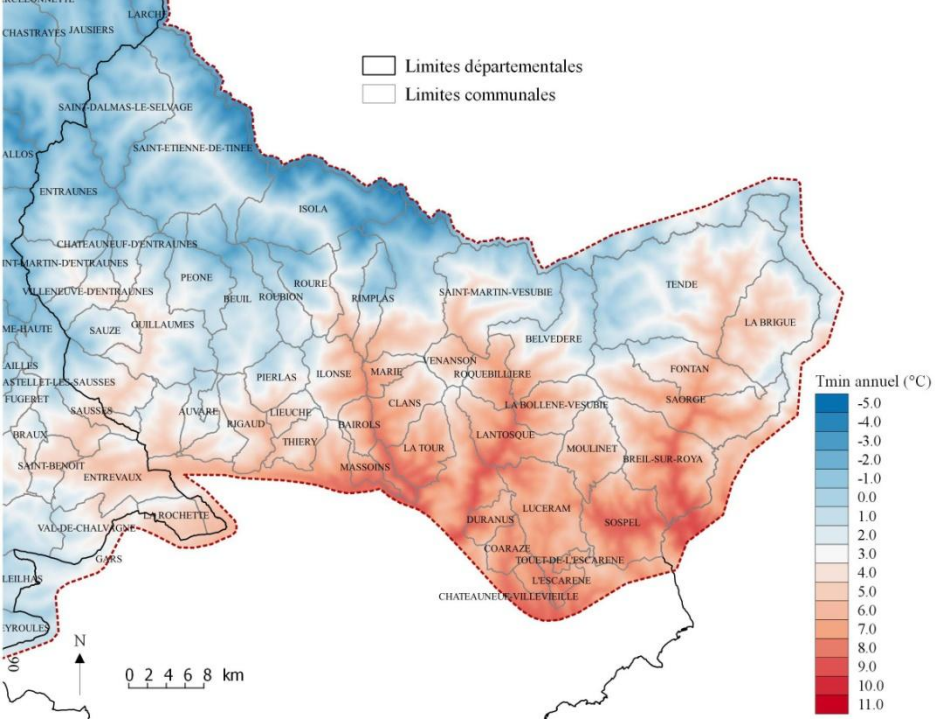
Le climat présent et futur dans les Alpes du Sud

45

Ces cartes du climat actuel et futur sont la somme des incertitudes liées à la qualité des mesures locales (stations de mesures), à l'interpolation spatiale des données, aux scénarios d'émissions, aux sorties des modèles globaux et régionaux (climat futur), et aux méthodes de correction des modèles globaux. Attention aux seuils altitudinaux : 3400 m pour les températures et 2400 m pour les précipitations

Comme les données de base ne sont pas journalières, il n'est pas possible de calculer en tout point de l'espace des indicateurs journaliers du type : nombre de journées d'été ($T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$), nombre de jours de gel, nombre de jours de pluie (cumul de précipitations $\geq 1 \text{ mm}$)... Pour cela, il faudrait un jeu de données journalières sur 20 ans minimum et pour toutes les stations météorologiques (si absence de convention avec Météo-France, coût très élevé)

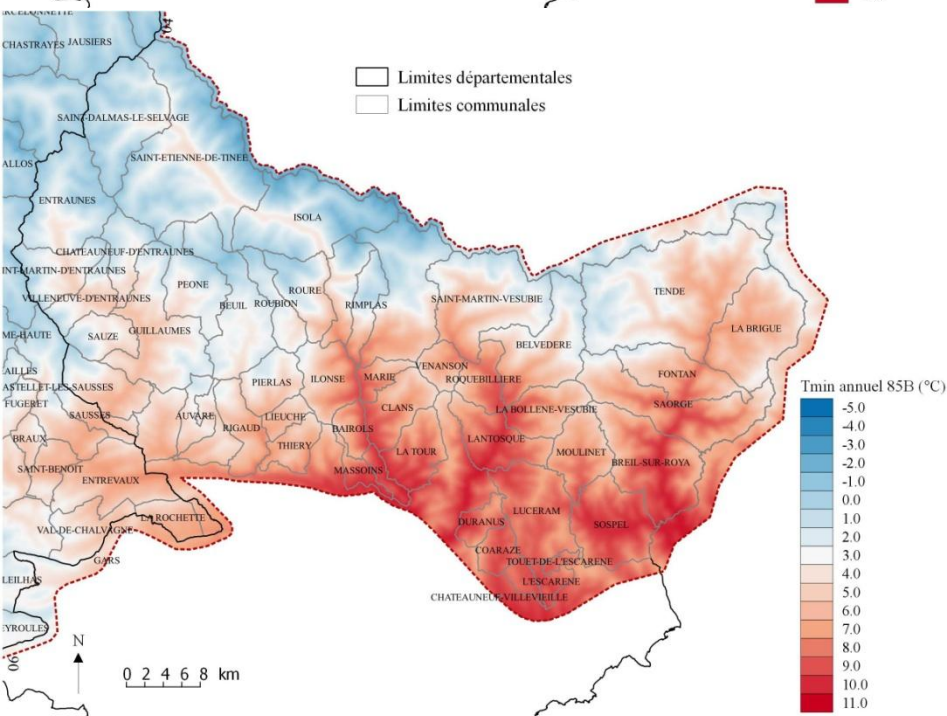
Il est toutefois possible de compléter les résultats en extrayant les indicateurs du portail DRIAS à 8 km de résolution spatiale (appliquer deltas aux stations météorologiques, par exemple, selon conditions).



Des résultats (températures de l'air et précipitations) disponibles sur les territoires alpins des Alpes-Maritimes

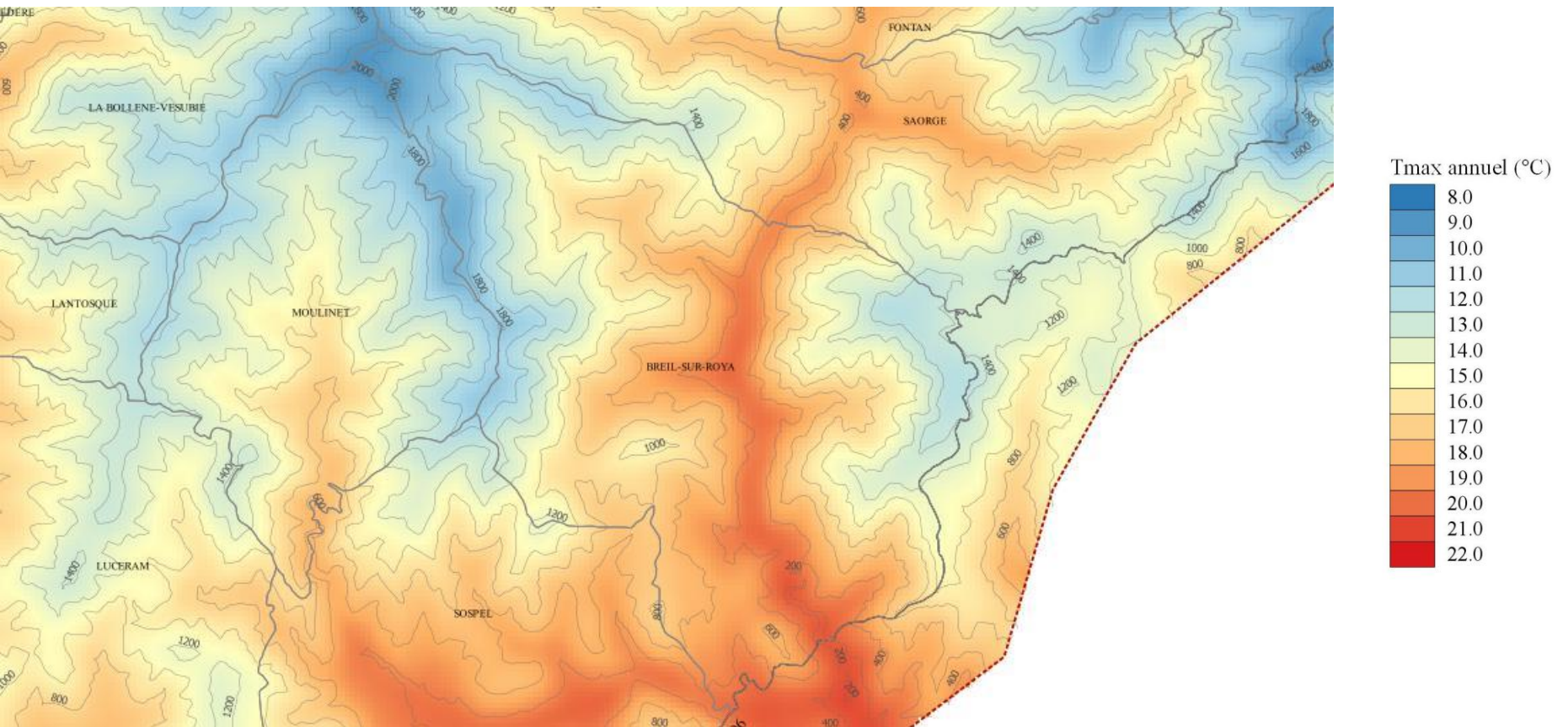
Des cartes numériques dans la base de données et des statistiques (à calculer sur chaque territoire)

Une volonté de diffuser les données, les cartes et des indicateurs (participation financière à définir)

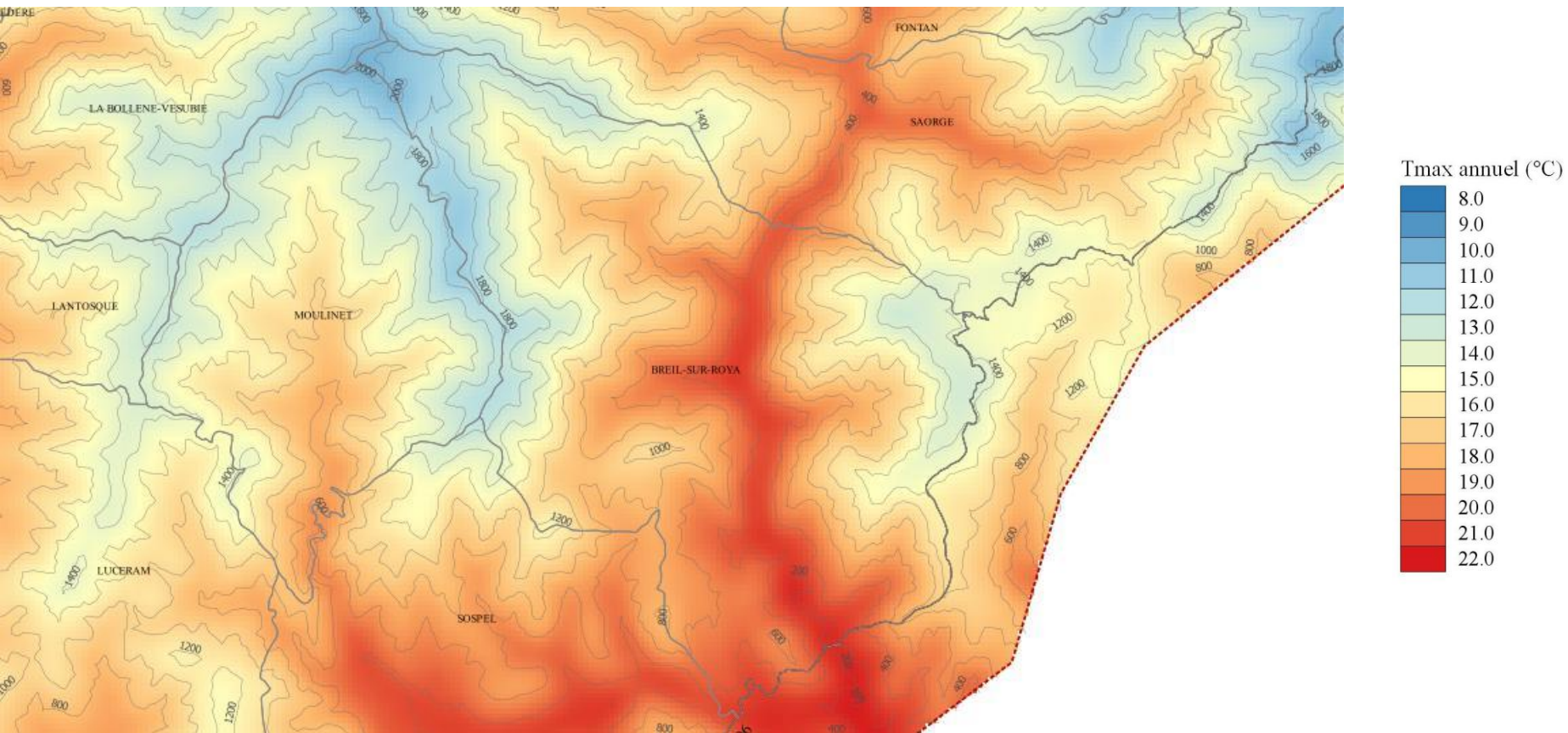


Projet de création d'un atlas en ligne (projet participatif) : cartes du climat + études (climat, paysages) réalisées par les conseils généraux, les associations, PN, PNR, laboratoires de recherche... = un observatoire du climat des Alpes du Sud + préconisations ?

1991-2010



2036-2055 RCP 8.5



Conclusion générale

- Un dérèglement climatique amorcé à l'échelle globale et régionale (et donc locale)
- Une concentration atmosphérique en CO₂ qui dépasse les 400 millions par partie. Un seuil de 450 millions par partie à ne pas dépasser pour éviter un bouleversement total
- Sortie de l'ère post-glaciaire (Holocène) commencée il y a 10000 ans avant Jésus-Christ caractérisée par une relative stabilité du climat = développement des sociétés humaines
- Une nouvelle ère a débuté en 1950 : l'anthropocène*. « En un peu plus de deux générations, l'humanité est devenue une force géologique à l'échelle de la planète » (selon Will Steffen, chercheur à l'Université de Stockholm et à l'Université nationale australienne, et son équipe de chercheurs). L'influence des activités anthropiques sur le système terrestre est désormais prépondérante
- Sur 1 million d'espèces, 10 peuvent disparaître chaque année sans que cela ne crée un déséquilibre majeur. A l'heure actuelle, 100 espèces disparaissent par an. Autre chiffre : selon WWF (World Wildlife Fund), fin 2014, plus de la moitié des animaux sauvages ont disparu ces 40 dernières années
- Des impacts sur l'environnement et les sociétés encore difficiles à évaluer, mais des premiers indicateurs à ne pas négliger
- Un changement de mode de vie et de consommation à l'échelle mondiale, notamment dans les pays les plus émetteurs de gaz à effet de serre (Etats-Unis, Chine, Europe...) est nécessaire
- L'adaptation au changement climatique et l'atténuation sont des démarches positives : la société doit s'engager dans cette voie

* néologisme, associant les mots grecs « homme » et « récent » (Paul Crutzen, Prix Nobel de chimie en 1995)

La stabilisation des émissions de GES coûterait entre 0,2% et 3% du produit intérieur brut mondial (PIB) à l'horizon 2030. Pour tenir l'objectif de 2°C de réchauffement climatique, les émissions de dioxyde de carbone doivent être réduites de 50 à 85% d'ici à 2050, sachant que, selon les démographes, nous serons près de 9,5 à 10 milliards d'humains en 2050 (7 milliards aujourd'hui).

Pour y parvenir, il faut associer stratégies d'atténuation, adaptation et développement technologique :

- **Sobriété énergétique** : économie d'énergie , chasse aux gaspillages : amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments, allongement de la durée de vie des produits manufacturés, partage, réutilisation et recyclage...
- **Production d'énergie** : générer de nouveaux investissements dans les pays en développement, améliorer les infrastructures dans les pays développés, développer les énergies renouvelables...
- **Transports** : réaliser des économies de carburant, recourir à des alternatives aux énergies fossiles, favoriser un changement des modes de transport, densifier les zones urbanisées et développer les outils de travail à distance, favoriser les transports en commun, réduire les distances, éviter les déplacements superflus...
- **Types de comportement** : changer les modes de consommation en privilégiant les produits qui ne favorisent pas l'effet de serre, choisir des activités récréatives moins polluantes...
- **Politiques** : actions d'adaptation et de soutien par des contributions financières, des crédits de taxe, l'établissement de normes...

Conclusion sur les projections climatiques régionales

51

- Une projet initié par la commune des Orres, la Maison de la météo (SEMLORE) et GeographR, avec le soutien financier de la Région PACA, qui a le mérite de mettre à disposition de 507 communes des Alpes du Sud une cartographie à fine échelle spatiale des températures de l'air et de cumuls de précipitations (climat actuel, horizons futurs 2016-2035 et 2036-2055). Elle renforce les actions menées par les acteurs locaux et régionaux
- Une base de données climatiques et une série de cartes du climat présent (1991-2010) et futur (2016-2035 et 2036-2055) pour le 04, 05 + couverture partielle du 06 et 38
- Des études au cas au cas possibles dans chaque secteur géographique (vallées, versants, sommets...), ce qui n'était pas possible auparavant. Les incertitudes sont mises en avant par RCP et par horizon. Il faut considérer ces résultats comme des tendances
- Les données sont diffusables selon conditions et accord préalable de la commune des Orres, SEMLORE et GeographR. Pour tout territoire hors Embrunais, se rapprocher de GeographR pour l'utilisation des données afin de produire des résultats statistiques sur lesquels s'appuyer (= éviter les erreurs d'interprétation)
- Des indicateurs à croiser avec les résultats d'autres études (« Etude de vulnérabilité du territoire du département des Hautes-Alpes aux effets attendus du changement climatique », indicateurs de Météo-France...). Données à intégrer dans un SIG afin de croiser des informations à la fois environnementales et territoriales = évaluer l'impact du changement climatique

Perspectives

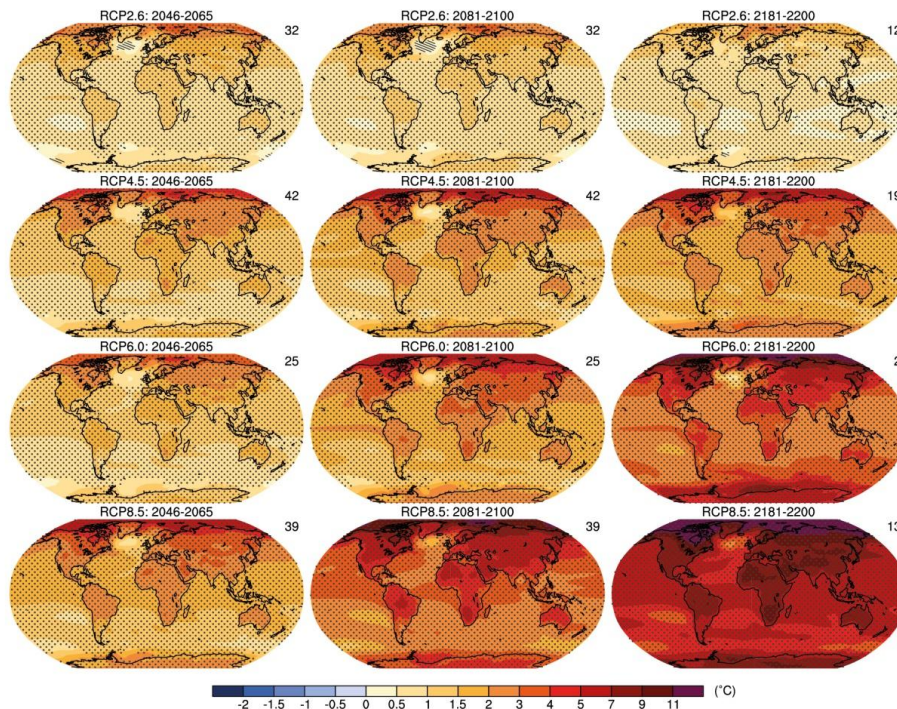
52

- Une méthodologie applicable à l'horizon 2085
- Vers la création d'un observatoire du climat et d'un atlas en ligne, destiné aux professionnels et aux citoyens, auquel seraient associés des indicateurs (climat, air, énergie) provenant d'études complémentaires (CG, PN, PNR, Météo-France, ORECA, Air PACA...), des variables physico-environnementales et biophysiques, des cartes d'occupation de surface...
- Renforcer la dynamique sur les thèmes du dérèglement climatique et de la vulnérabilité des territoires, favoriser les politiques d'adaptation au changement climatique concertées et partagées avec le soutien de l'ensemble des acteurs territoriaux, du pôle métier Climat et Air du CRIGE-PACA, du futur Groupe d'experts et de scientifiques sur le climat (GREC-PACA)...
- Enrichir le débat citoyen avec les élus locaux...
- Une étude similaire sur les territoires non alpins de la région PACA en projet
- Pour information, une formation DRIAS proposée par le Pôle métier Climat & Air du CRIGE-PACA le 24 mars 2015

Merci de votre attention

53

Annual mean surface air temperature change



GeographR

Email : geographr@numericable.fr

Web : geographr.typepad.fr

Pôle métier Climat & Air du CRIGE-PACA :

<http://www.crige-paca.org/poles-metiers/pole-metier-climat-et-air.html>