IAUR
institut d'aménagement et d'urbanisme de Rennes

WORKSHOP 2019 7ème édition

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE, DU GLOBAL AU LOCAL :

DE L'EFFET DE SERRE À L'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN

Vincent DUREUX
LETG-Rennes-COSTEL
Université Rennes 2

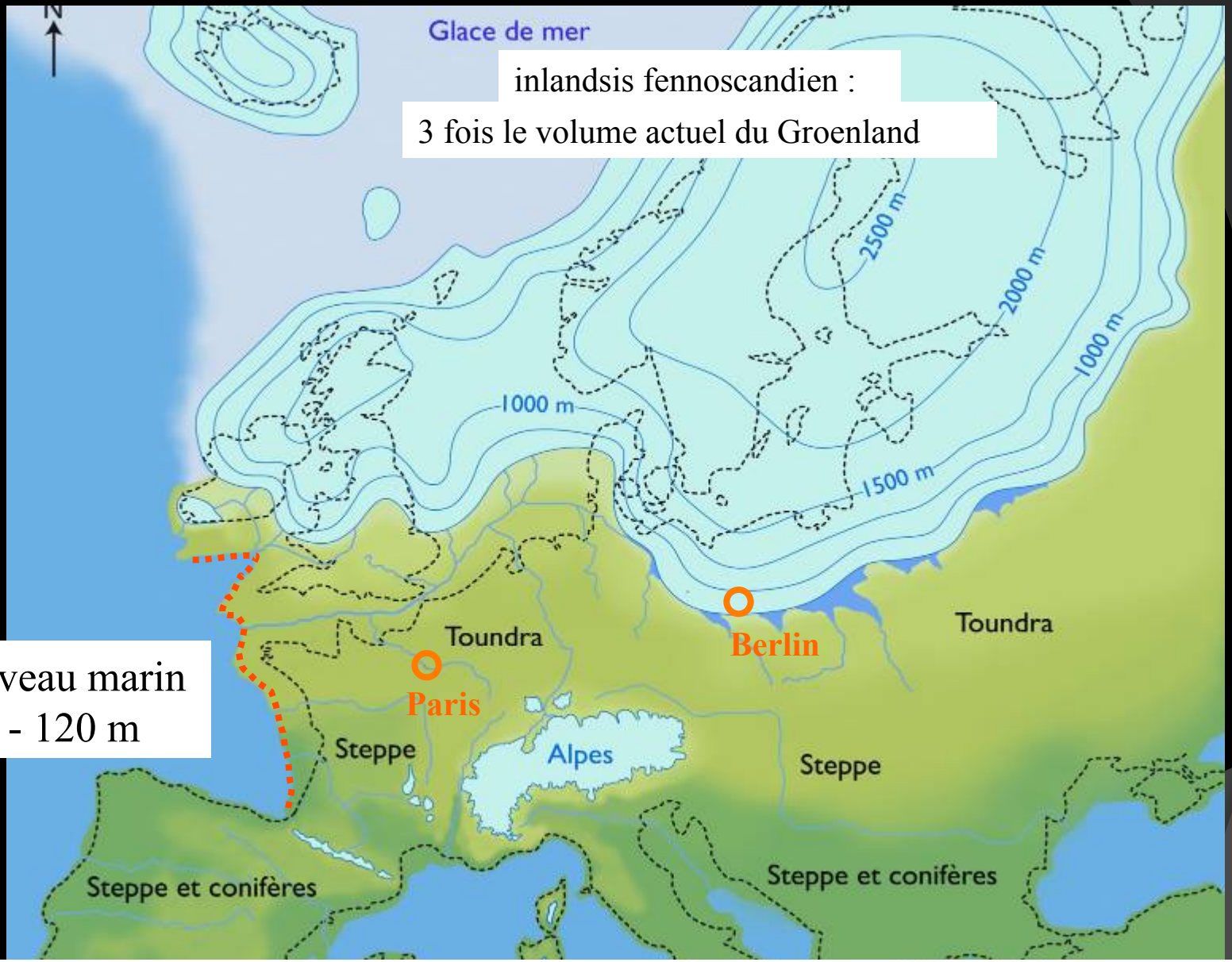
UNIVERSITÉ RENNES

UMR 6554 CNRS LETG rennes costel

cnrs

7ème WORKSHOP DE L'IAUR : Changement climatique : Vulnérabilités et opportunités du territoire métropolitain rennais. Connaître pour mieux gérer l'incertitude. 4 - 8 février 2019

l'Europe au dernier maximum glaciaire - 21 000 ans



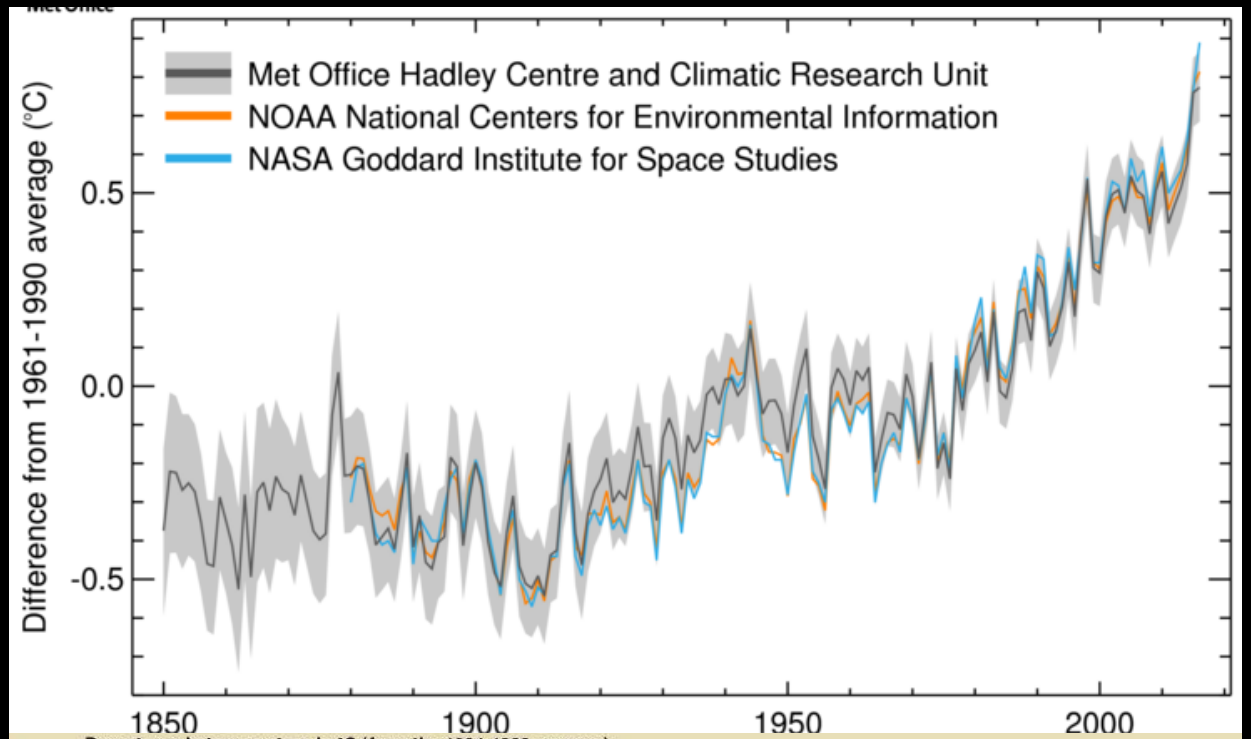
niveau marin
- 120 m

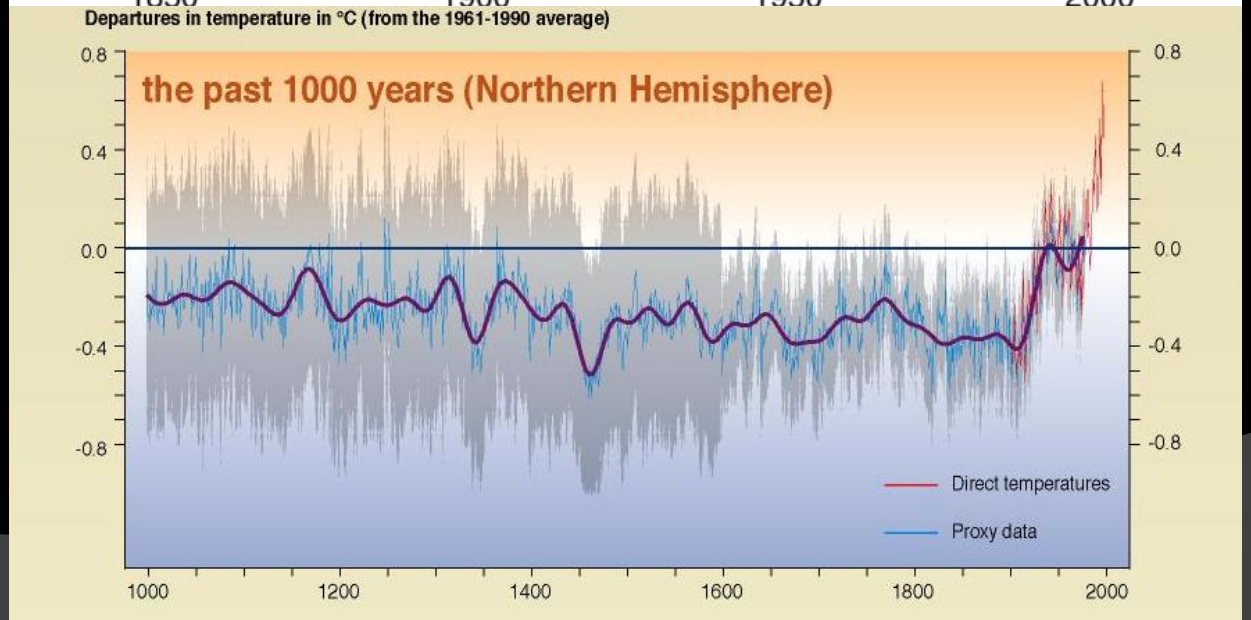
Température moyenne de l'Europe -10° comparée à 2006 / Monde -6°

Le climat actuel est un état transitoire…

- Un phénomène inégalement réparti dans le temps et l'espace
- Une action anthropique qui amplifie un mécanisme naturel
- **Impacts à Rennes :** sécheresses et îlot de chaleur urbain…

Un phénomène discontinu dans le temps





+ 0,74°C au XXe S

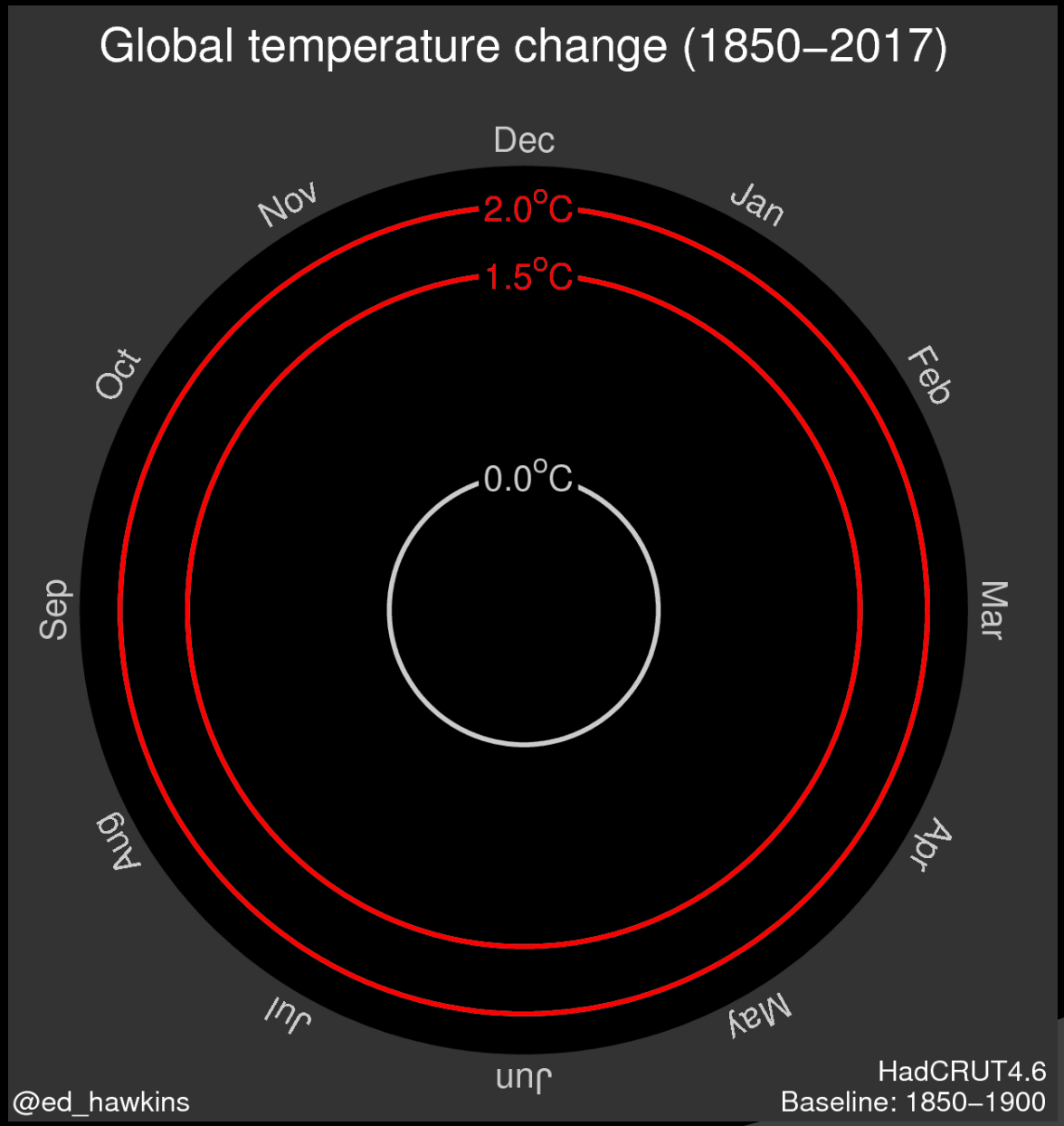
+0,85 sur 1880-2012

~ 1°C sur 1880-2018

Dernière décennie la plus chaude depuis 1000 ans ?

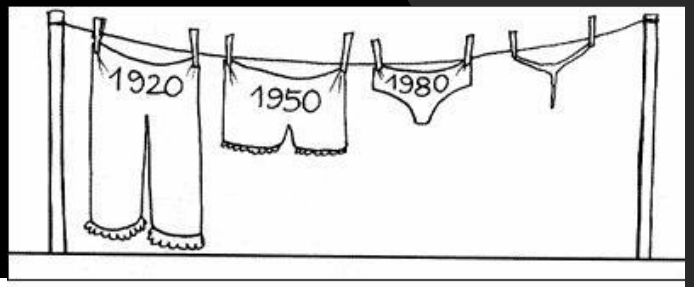
Onze des douze dernières années figurent au palmarès des douze années les plus chaudes depuis depuis 1850

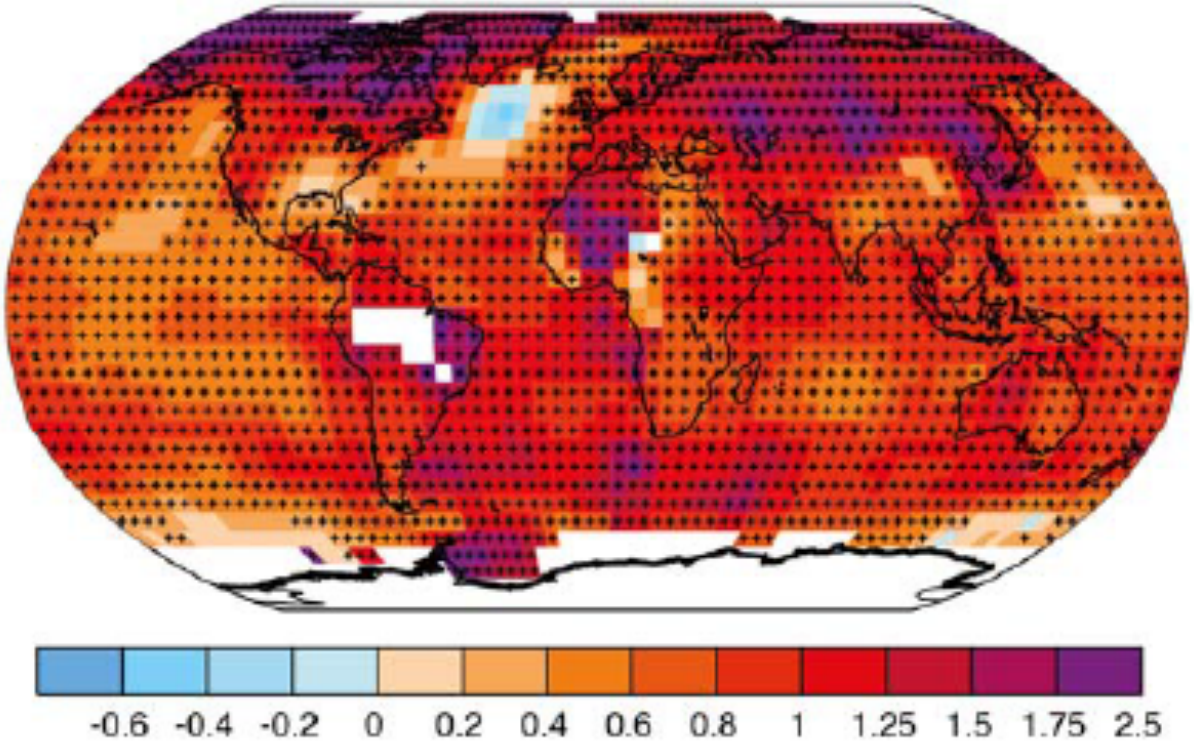
Source : GIEC, 2007, 2013



Évolution de la température moyenne mensuelle à la surface de la Terre de 1880 à 2017. © https://www.climate-lab-book.ac.uk/spirals/

Un phénomène inégalement réparti dans l'espace



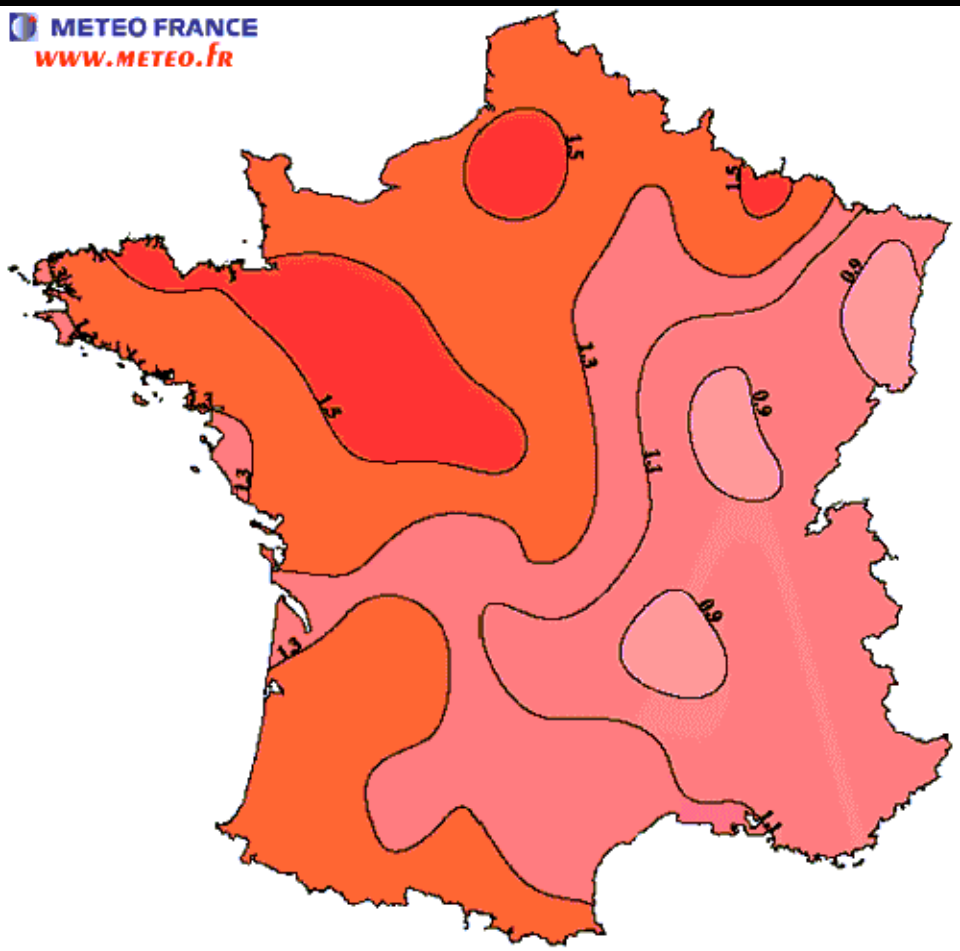


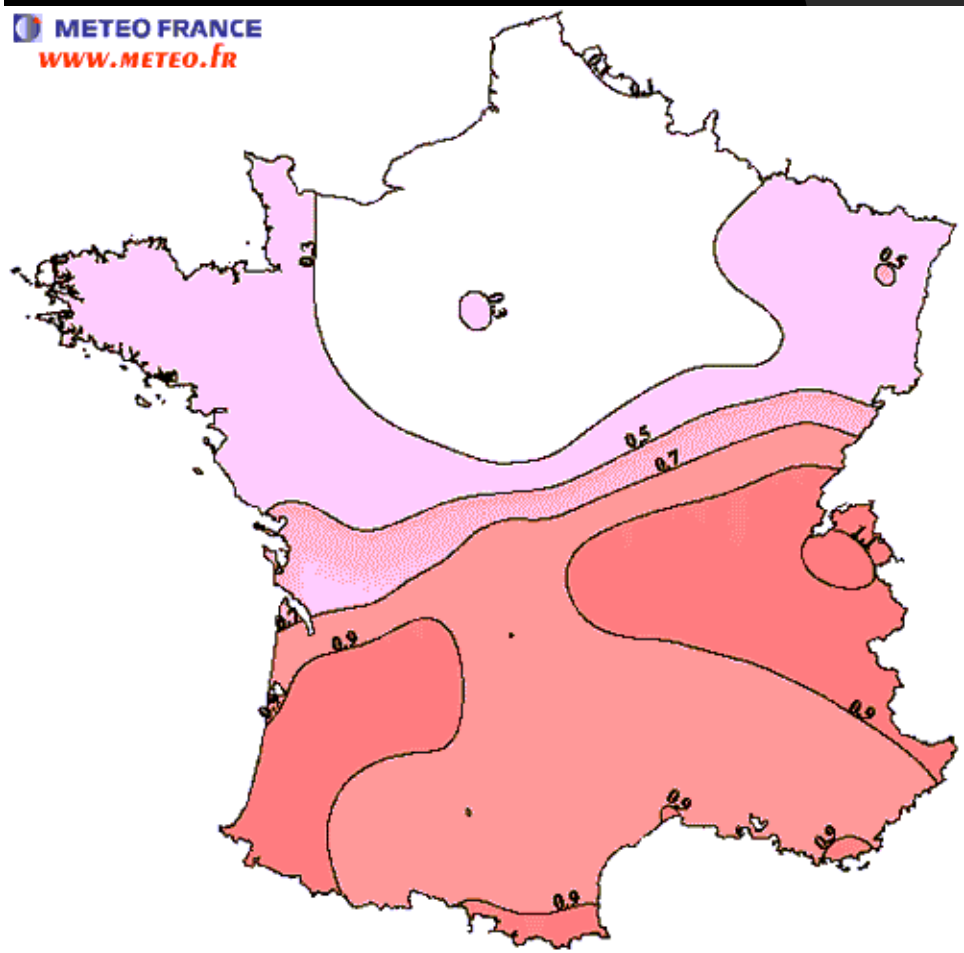
Evolution de la température moyenne à la surface du globe

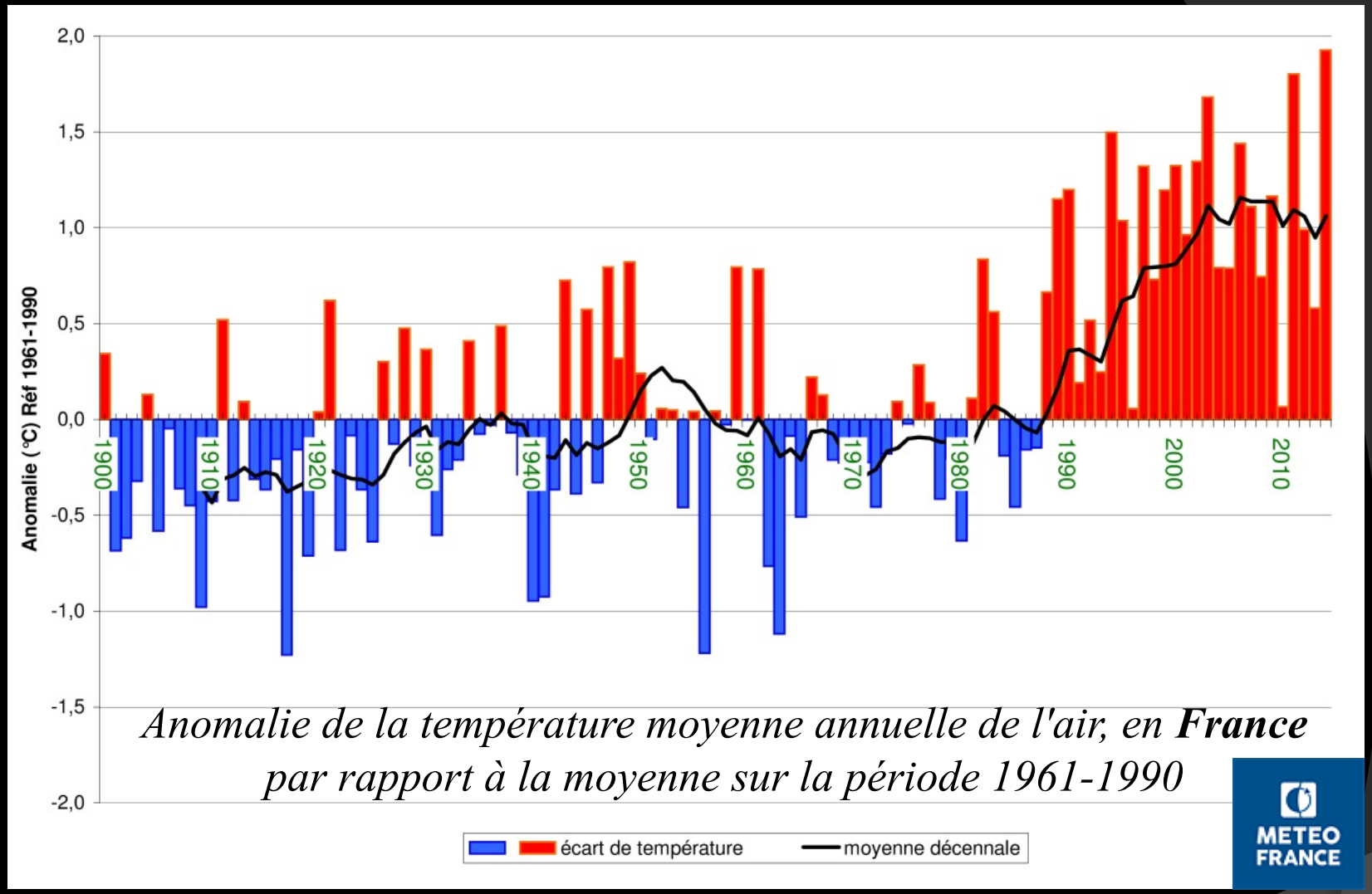
Source : GIEC, 2013

Un phénomène bien marqué en France

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



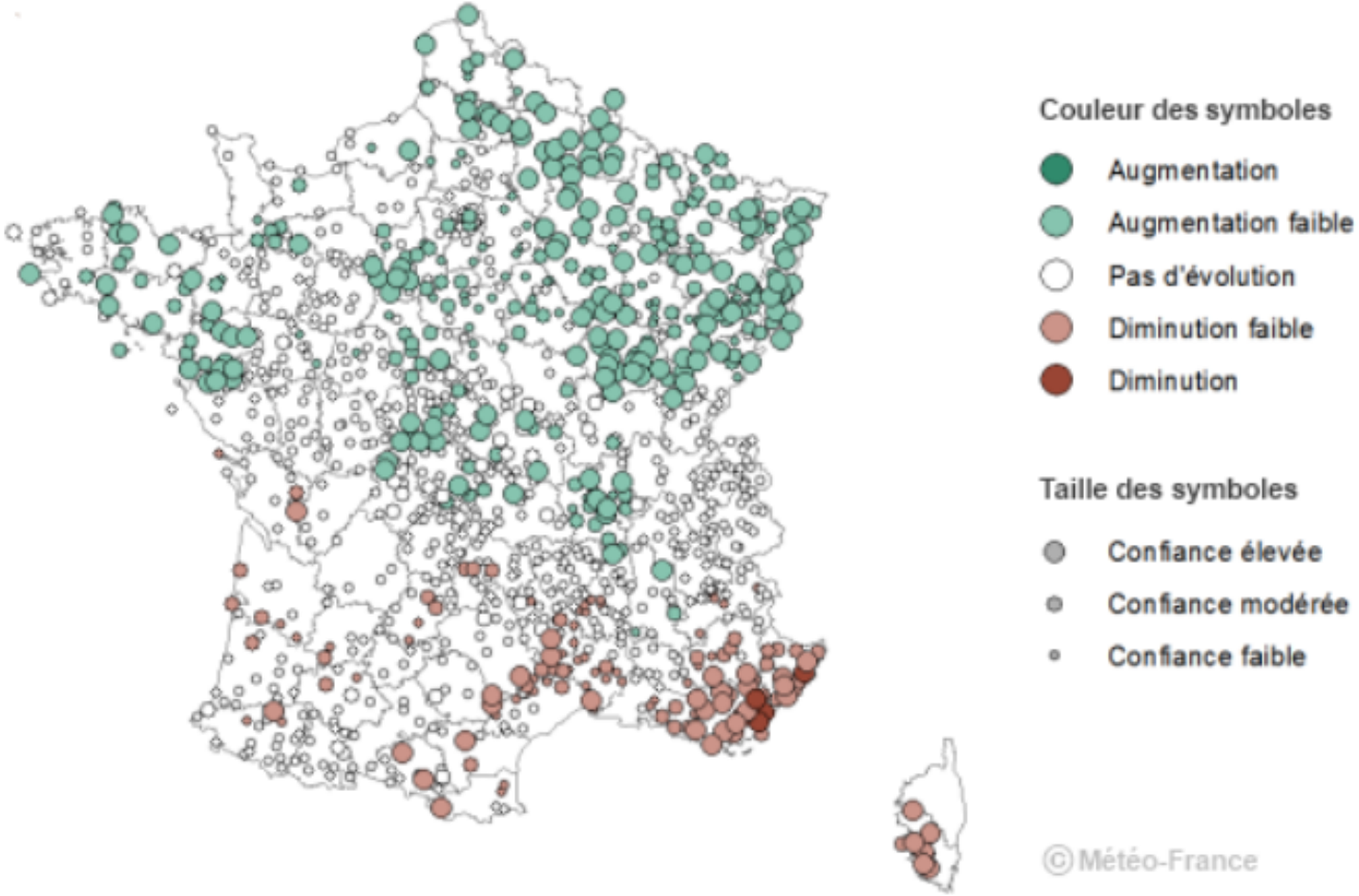




2018 : l'année la plus chaude en France (4e dans le monde) :

La température moyennée sur l'année, proche de 14 °C, devrait se situer 1,4 °C au-dessus de la moyenne de référence 1981-2010. Au premier rang des années les plus chaudes depuis le début du XXe siècle, devant 2014 (+1,2 °C) et 2011 (+1,1 °C).

Evolution observée du cumul annuel de précipitations sur la période 1959-2009

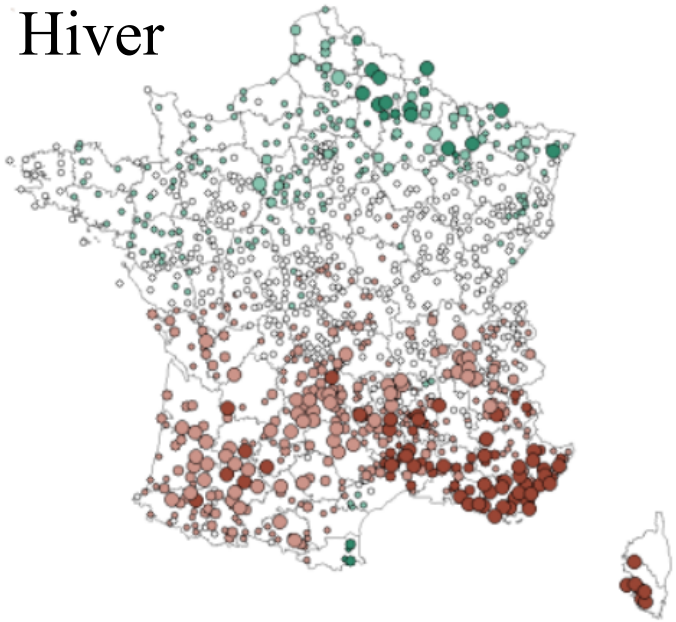


http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climathd

Evolution des précipitations en France

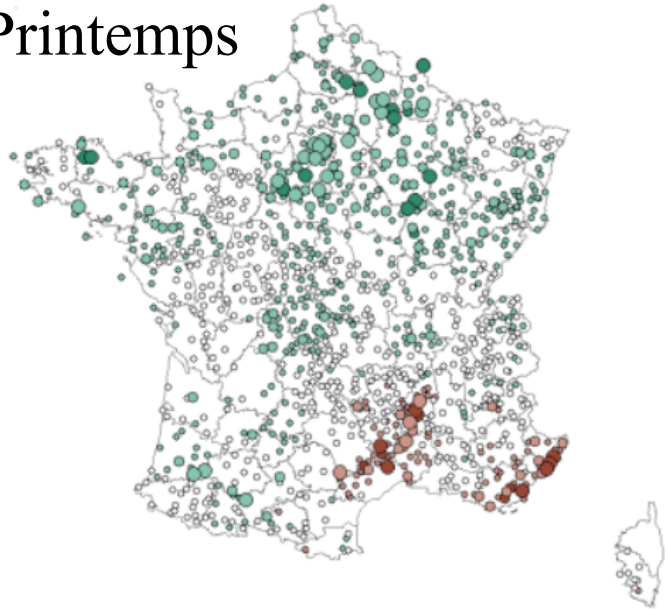
Evolution observée du cumul hivernal de précipitations sur la période 1959-2009

Hiver



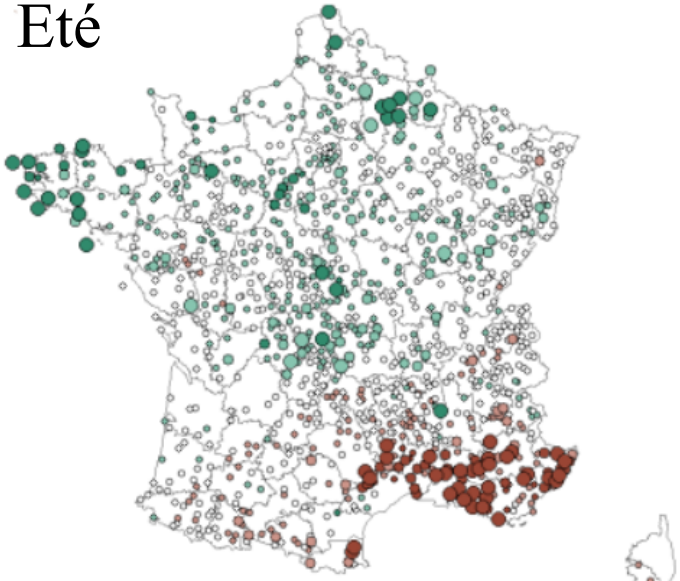
Evolution observée du cumul printanier de précipitations sur la période 1959-2009

Printemps



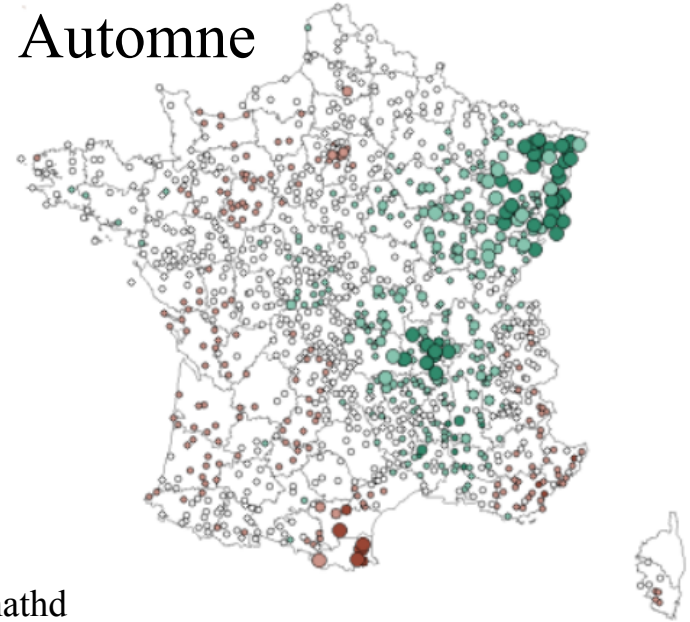
Evolution observée du cumul estival de précipitations sur la période 1959-2009

Eté



Evolution observée du cumul automnal de précipitations sur la période 1959-2009

Automne



Couleur des symboles

- Augmentation
- Augmentation faible
- Pas d'évolution
- Diminution faible
- Diminution

Taille des symboles

- Confiance élevée
- Confiance modérée
- Confiance faible

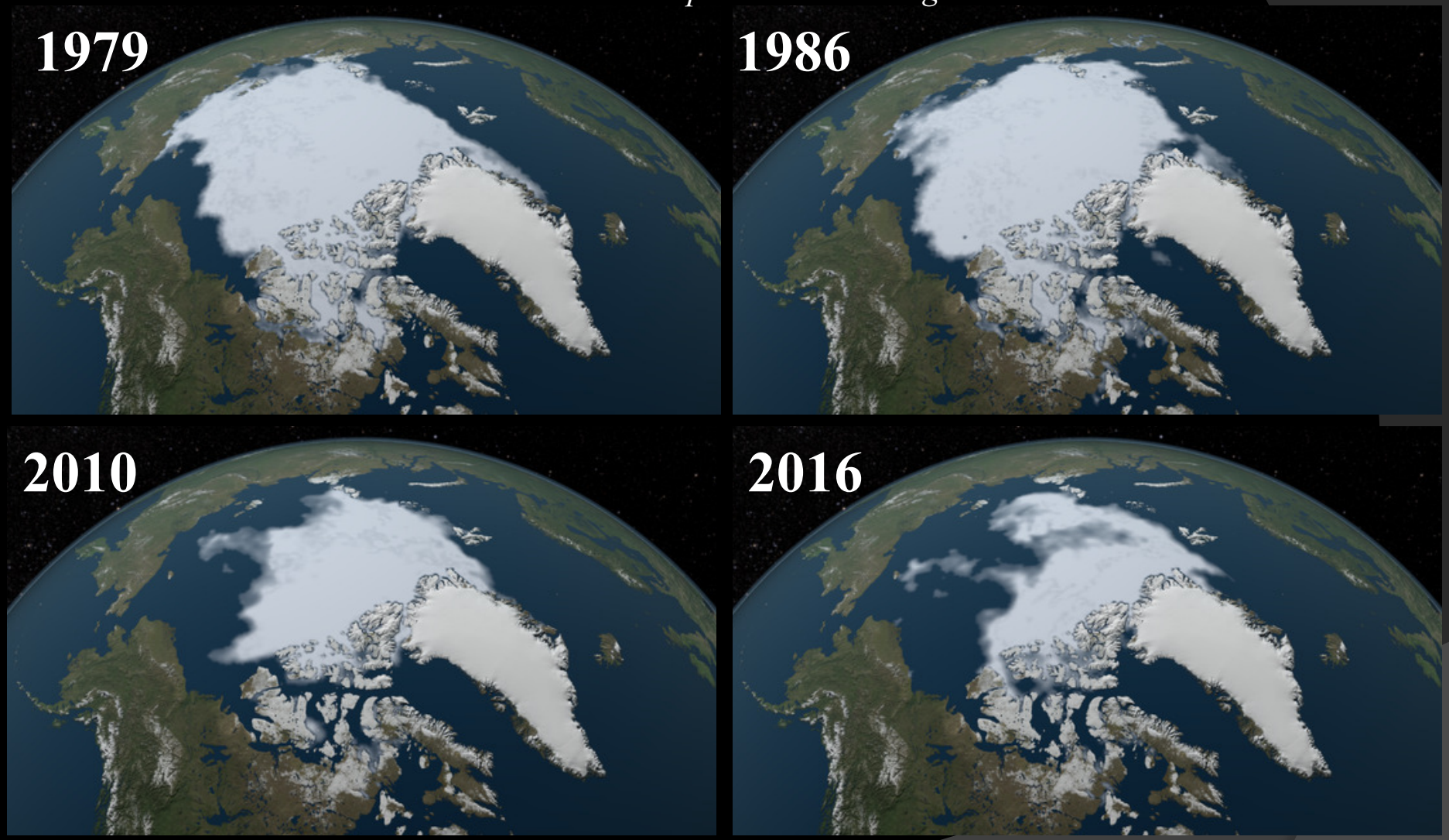
http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climathd

Des marqueurs « naturels » : Les glaciers de montagne

Norvège, 2015

Le recul de la banquise arctique vue par satellite

https://climate.nasa.gov/interactives/climate-time-machine



Rappel : la remontée du niveau marin n'est pas lié à la fonte des glaces de mer (banquise) mais des glaces continentales (+dilatation thermique)

2. L'effet de serre : un raccourci du bilan radiatif

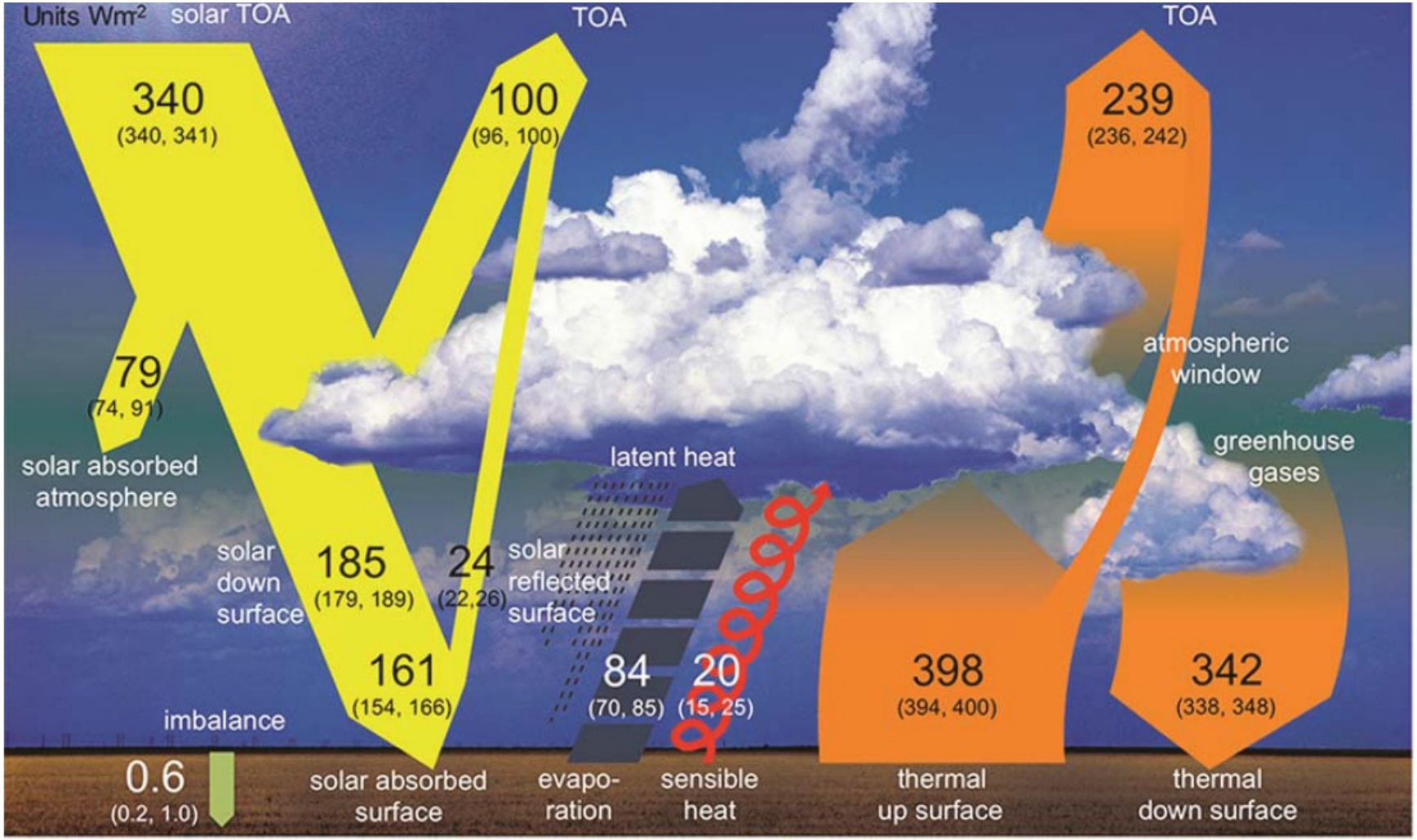
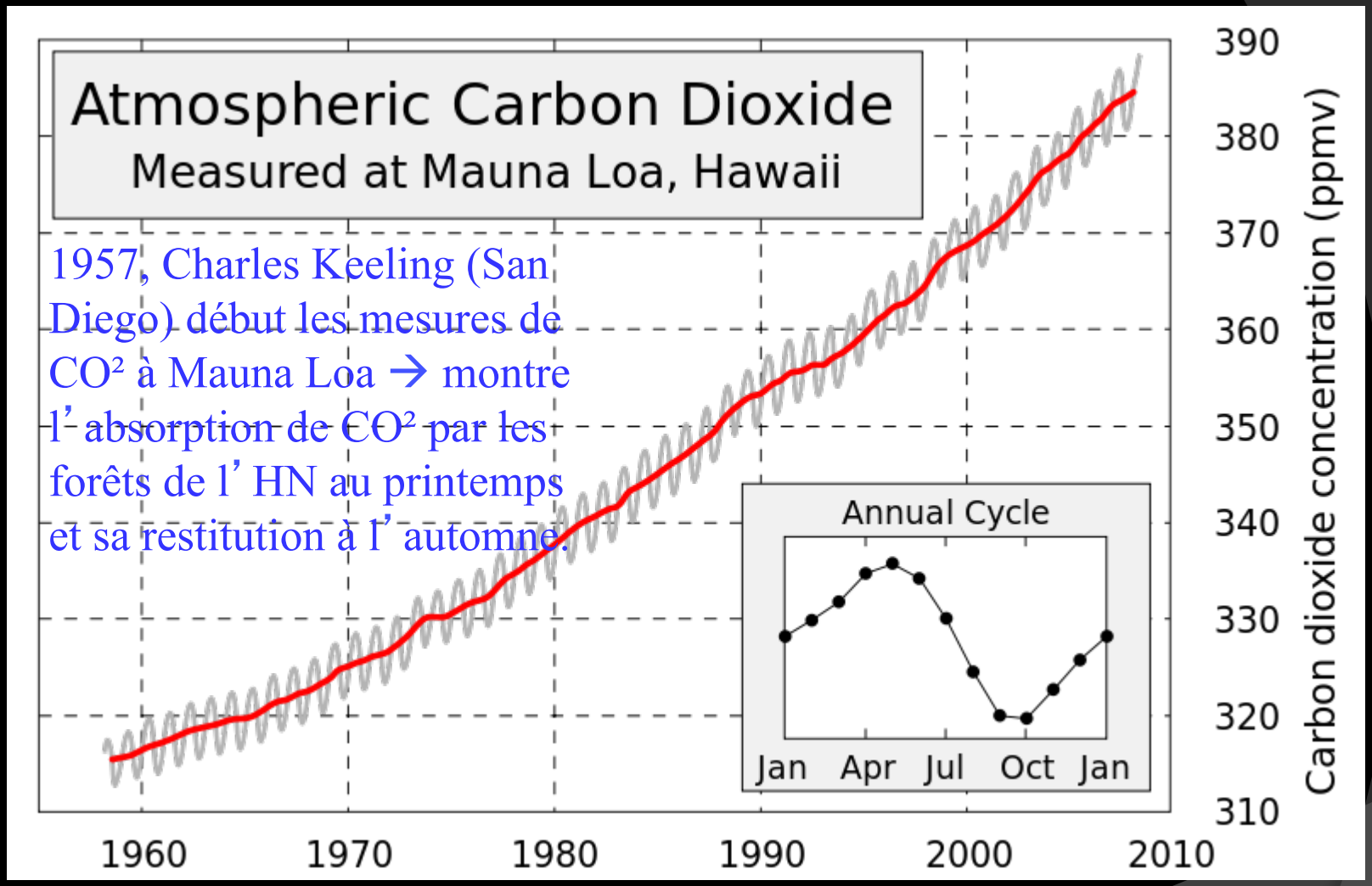


Figure 2.11: Global mean energy budget under present day climate conditions. Numbers state magnitudes of the individual energy fluxes in W/m^2, adjusted within their uncertainty ranges to close the energy budgets. Numbers in parentheses attached to the energy fluxes cover the range of values in line with observational constraints. Figure adapted from Wild et al. (2013).

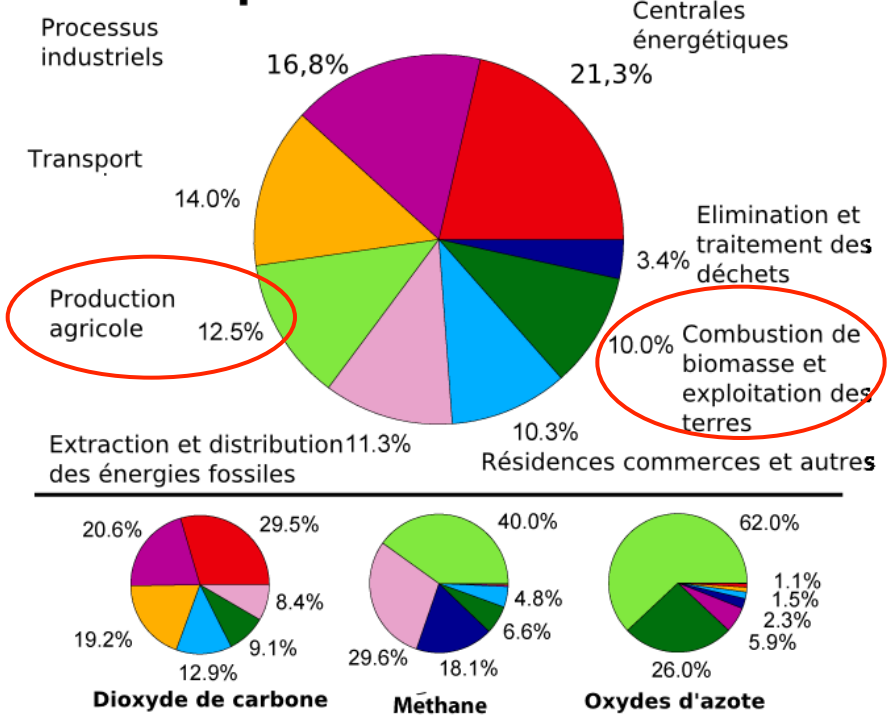


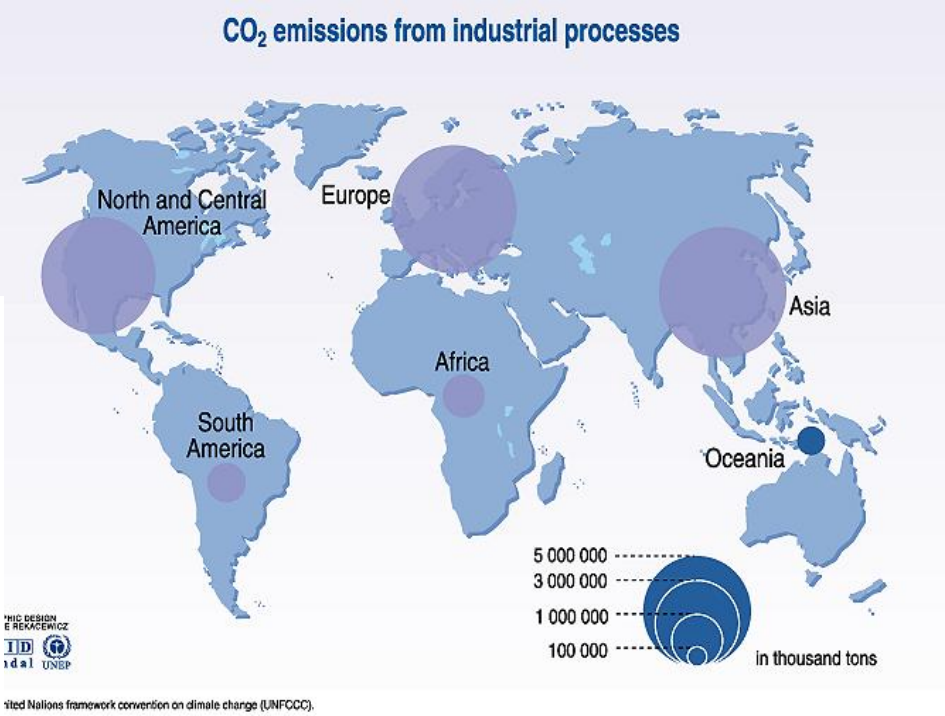
CO_2 : 280 en 1800 → 390 ppmv (+40%) ; CH_4 : 0,9 → 1,7 ppmv (+145%)

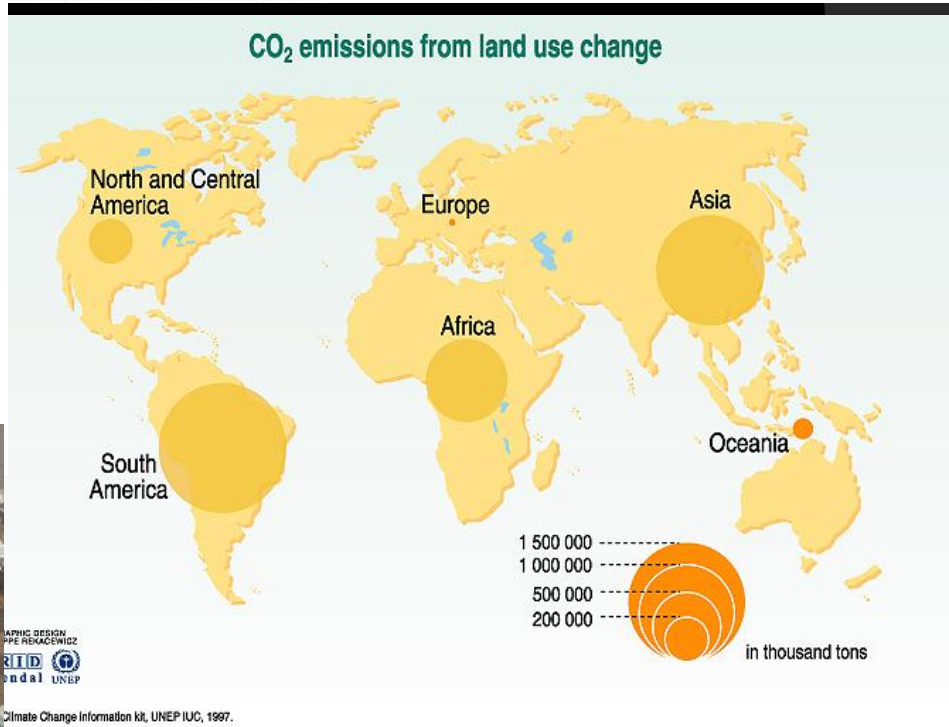
Depuis 1800 : + 2,5W.m-² à la surface de la Terre

(60% du au CO_2, 19% au méthane, 6% au N^2O, 15% aux CFC)

Emissions annuelles de gaz à effet de serre par secteur

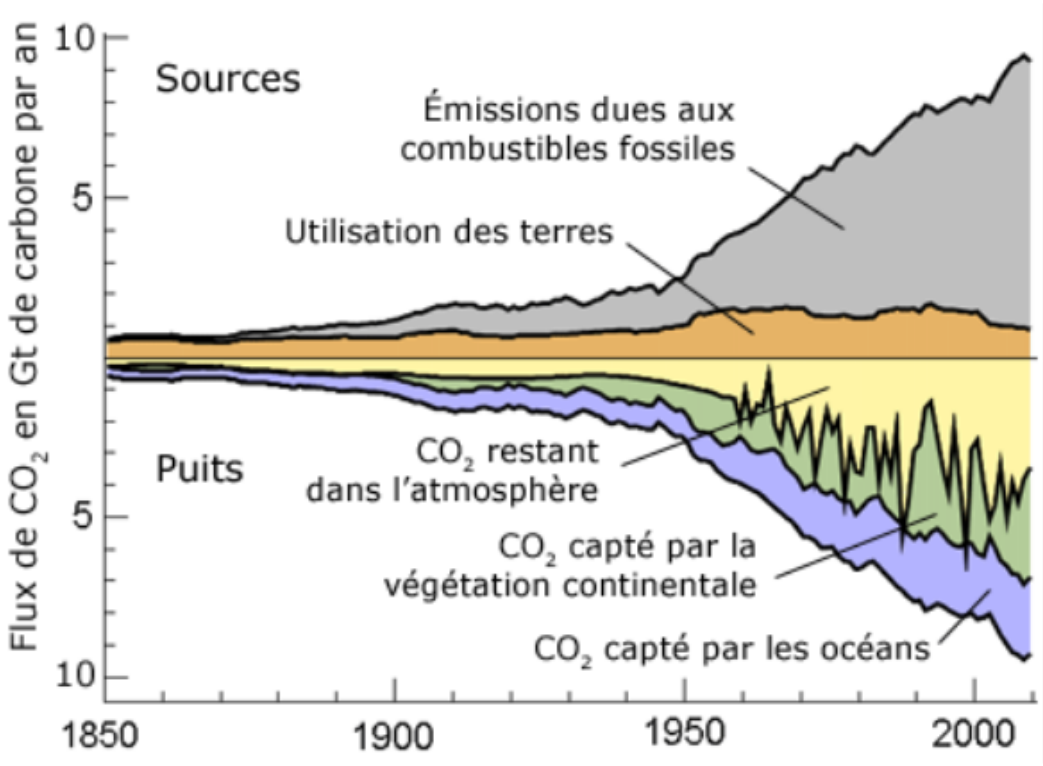






Que devient le carbone additionnel émis par les activités humaines ?

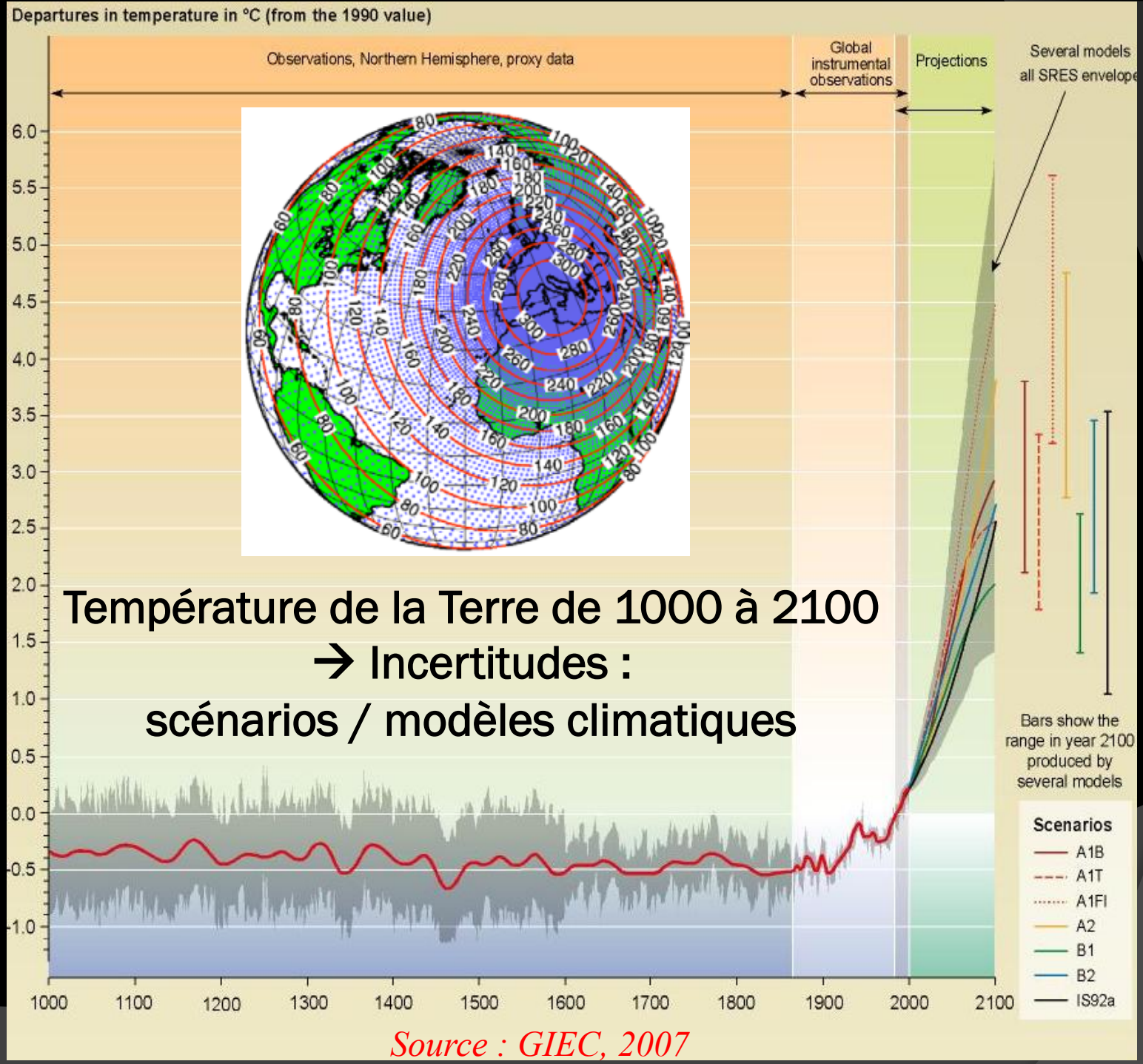
Source : Le Quéré et al., 2010;
A retrouver sur : http://www.universcience.fr/climobs



Moyennes 2000-2009 (en Gt de carbone/an)
7,7 ± 0,5
1,1 ± 0,7
4,1 ± 0,1
2,4 ± 0,7
2,3 ± 0,4

Puits de CO_2

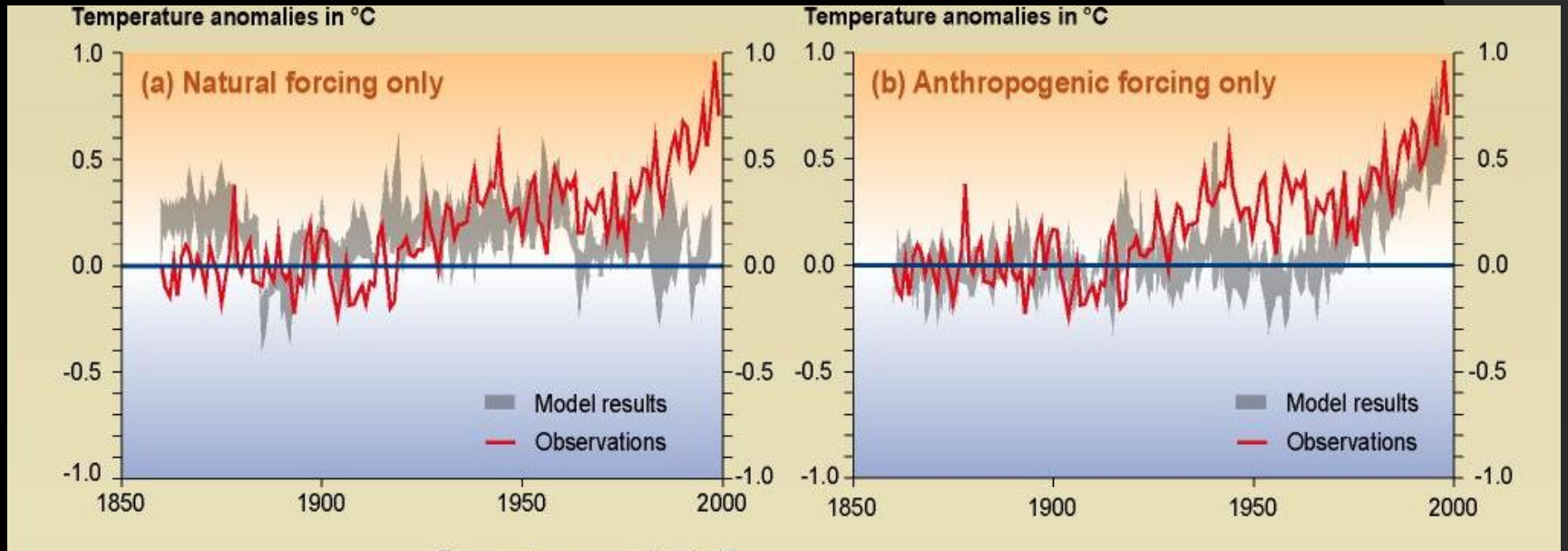
Rabais de 55% sur le changement climatique

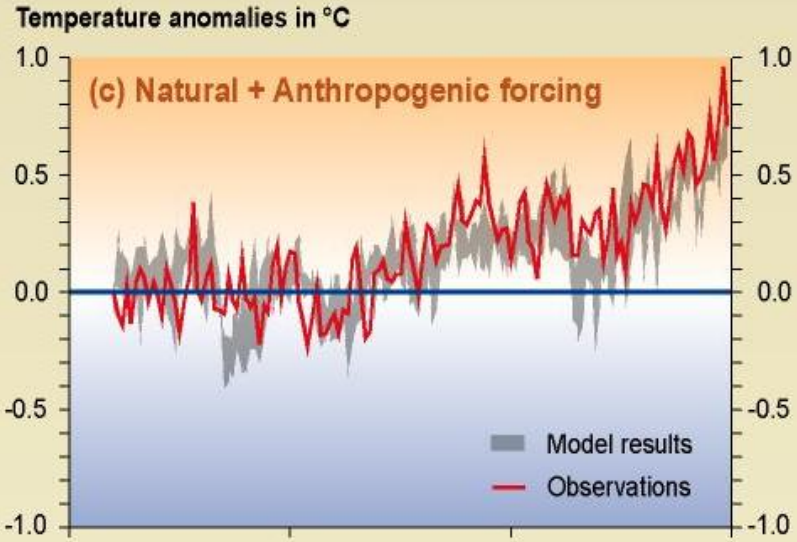


Température de la Terre de 1000 à 2100
→ Incertitudes :
scénarios / modèles climatiques

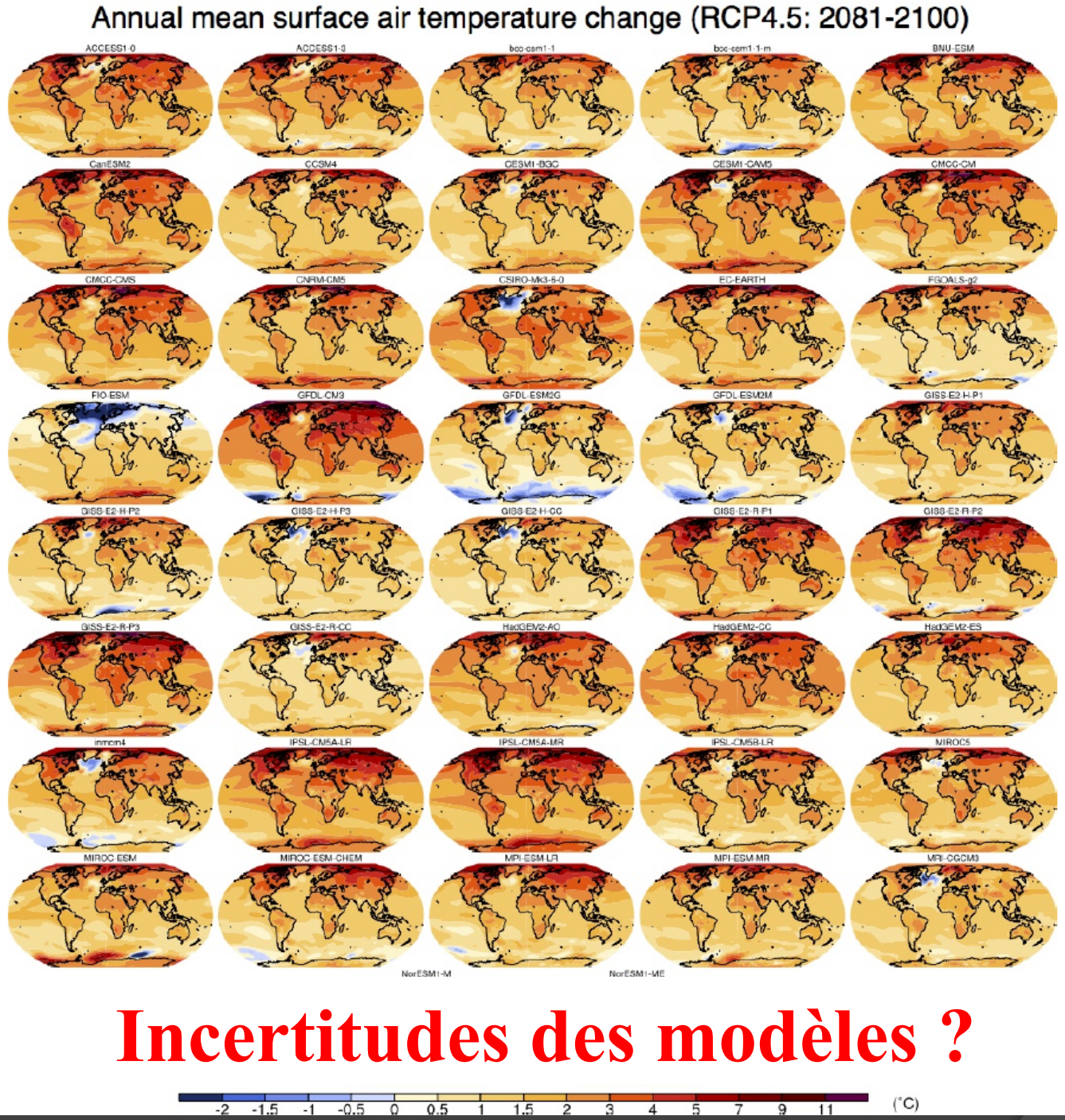
Source : GIEC, 2007

Comparaison entre les observations et la modélisation de températures depuis 1860



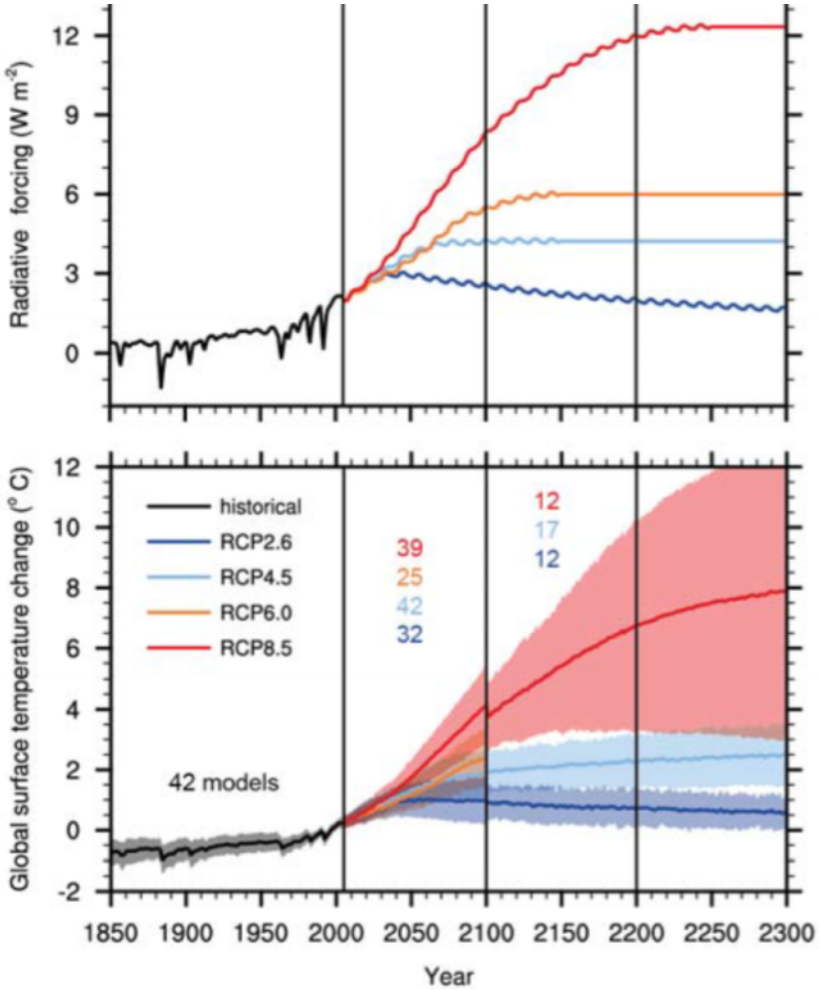


Source : GIEC, 2007

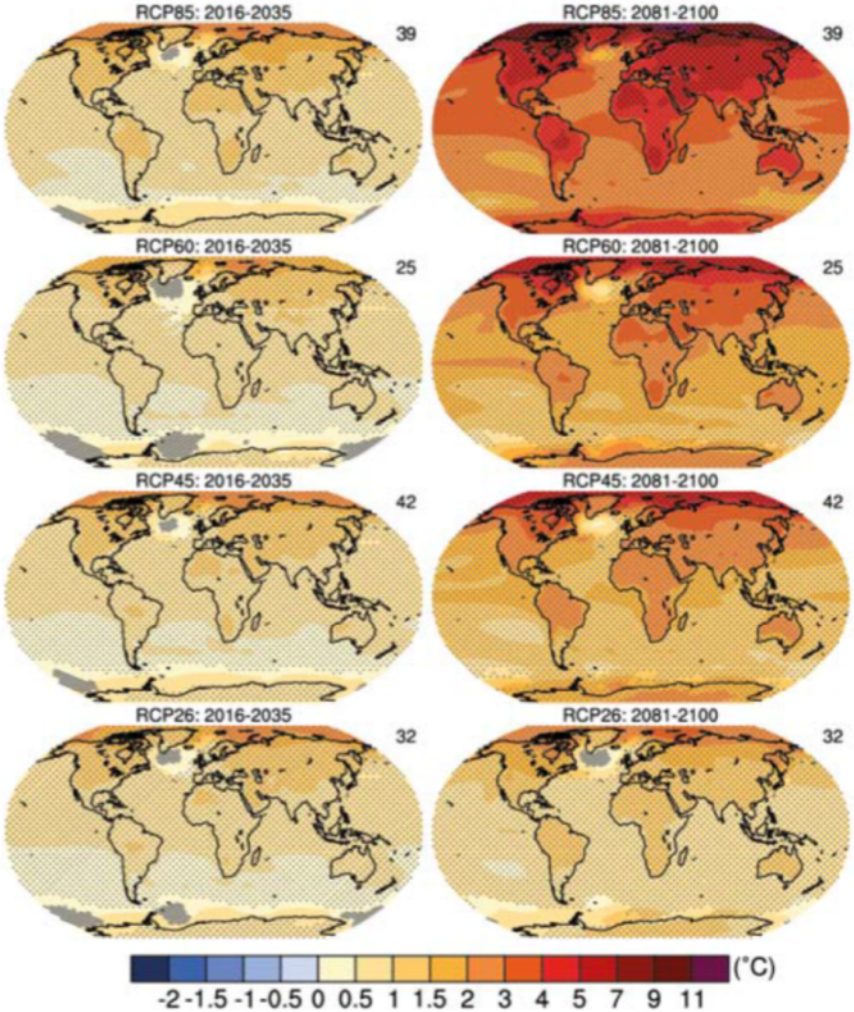


Incertitudes des modèles ?

Incertitudes des scénarios ?



2016–2035 - 2081–2100



8.5

6.0

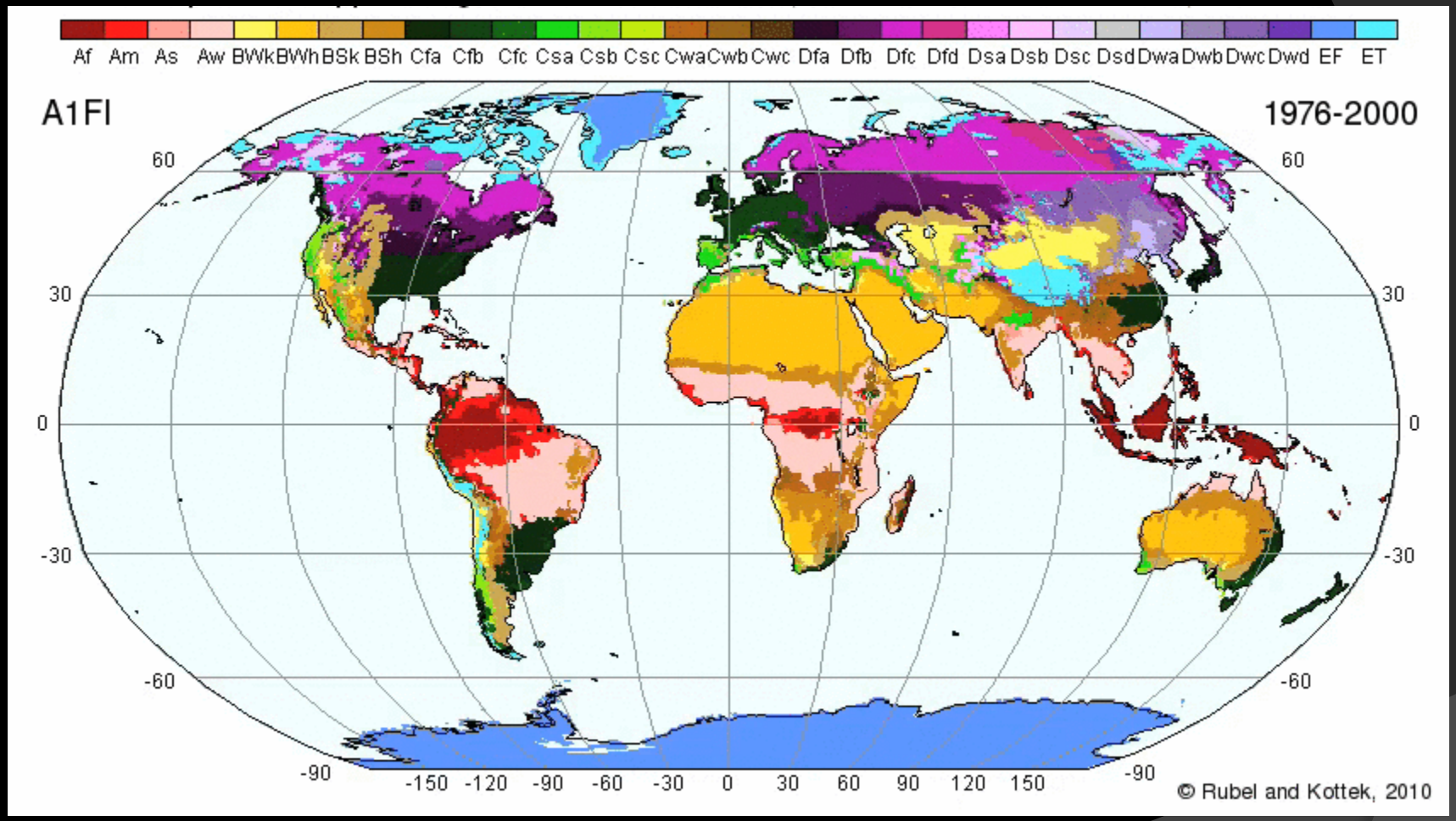
4.5

2.6

Moyenne multi-modèles de l'évolution des températures moyennes (comparées à la période 1986–2005) pour 2016–2035 et 2081–2100

Source : GIEC, 2013

Climats d'après la classification de Köeppen



Fonte : Kottek, M., J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, and F. Rubel, 2006: World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.*, **15**, 259-263

Températures hivernales

RCP 4.5

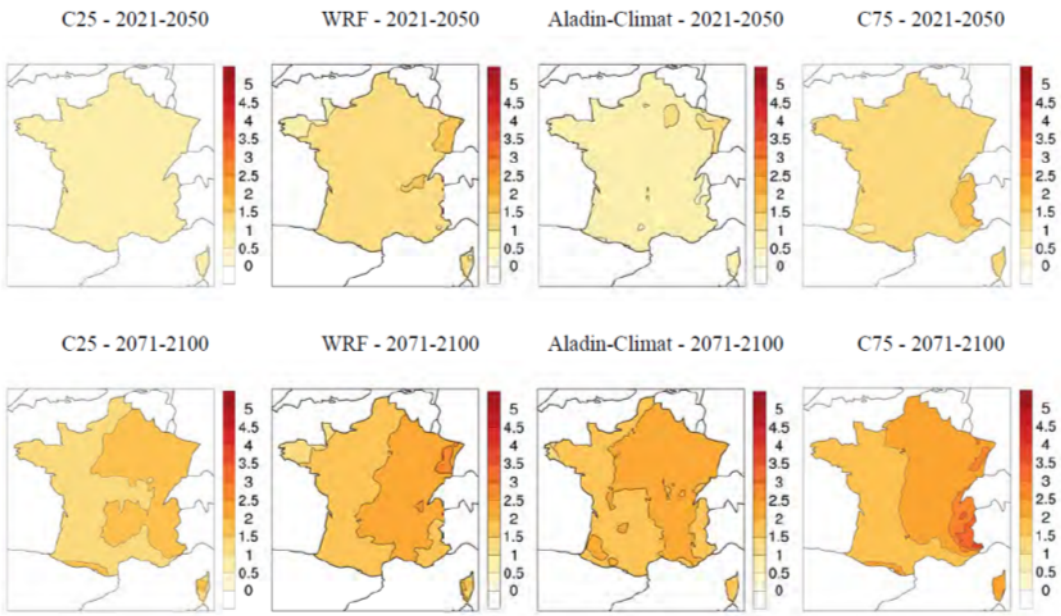


Figure 4: Écarts de température hivernale (°C) en France relativement à la référence 1976-2005, pour le scénario RCP4.5, aux horizons 2021-2050 (ligne du haut) et 2071-2100 (ligne du bas). Pour chaque ligne, de gauche à droite : 25e centile de l'ensemble, WRF, Aladin-Climat, 75e centile de l'ensemble.

Voir également :
Portail DRIAS, Météo-France
www.drias-climat.fr

RCP 8.5

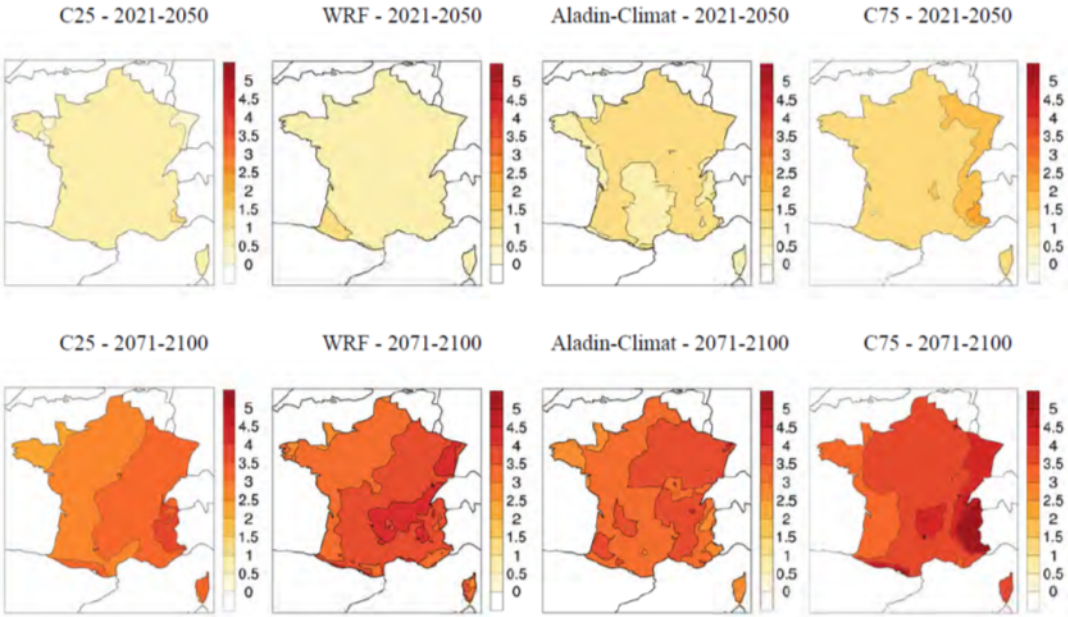


Figure 5: Écarts de température hivernale (°C) en France relativement à la référence 1976-2005, pour le scénario RCP8.5, aux horizons 2021-2050 et 2071-2100. Pour chaque ligne, de gauche à droite : 25e centile de l'ensemble, WRF, Aladin-Climat, 75e centile de l'ensemble.

Source :
Le climat de la France au XXIe siècle.
Volume 4 : Scénarios régionalisés : édition 2014 pour la métropole et les régions d'outre-mer.
G. Ouzeau, M. Déqué, M. Jouini, S. Planton, R. Vautard
Sous la direction de Jean Jouzel
Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie

Températures estivales

RCP 4.5

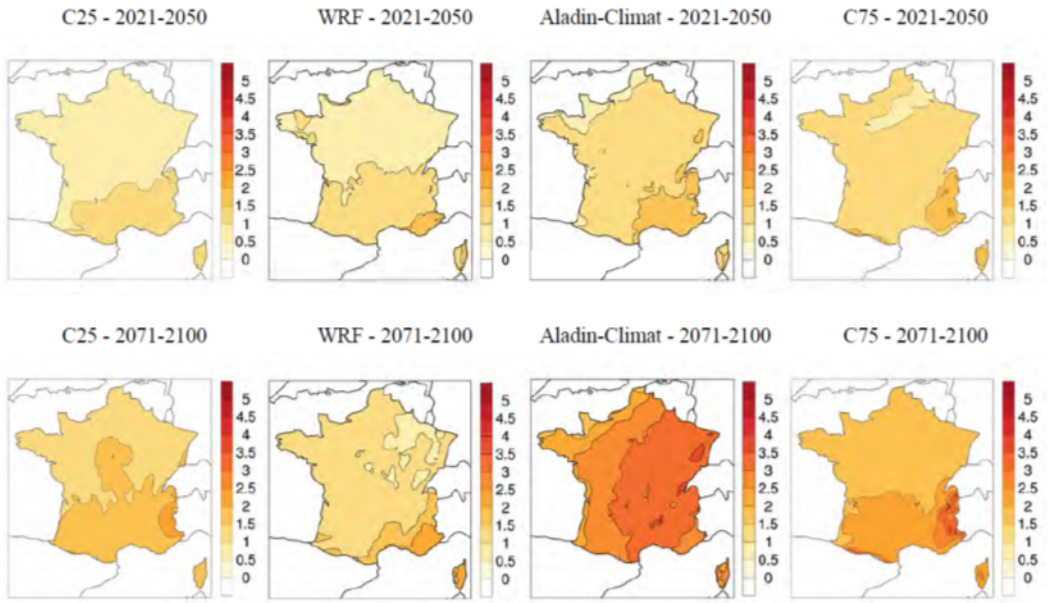


Figure 6: Écarts de température estivale (°C) en France relativement à la référence 1976-2005, pour le scénario RCP4.5, aux horizons 2021-2050 et 2071-2100. Pour chaque ligne, de gauche à droite : 25e centile de l'ensemble, WRF, Aladin-Climat, 75e centile de l'ensemble.

Voir également :
Portail DRIAS, Météo-France
www.drias-climat.fr

RCP 8.5

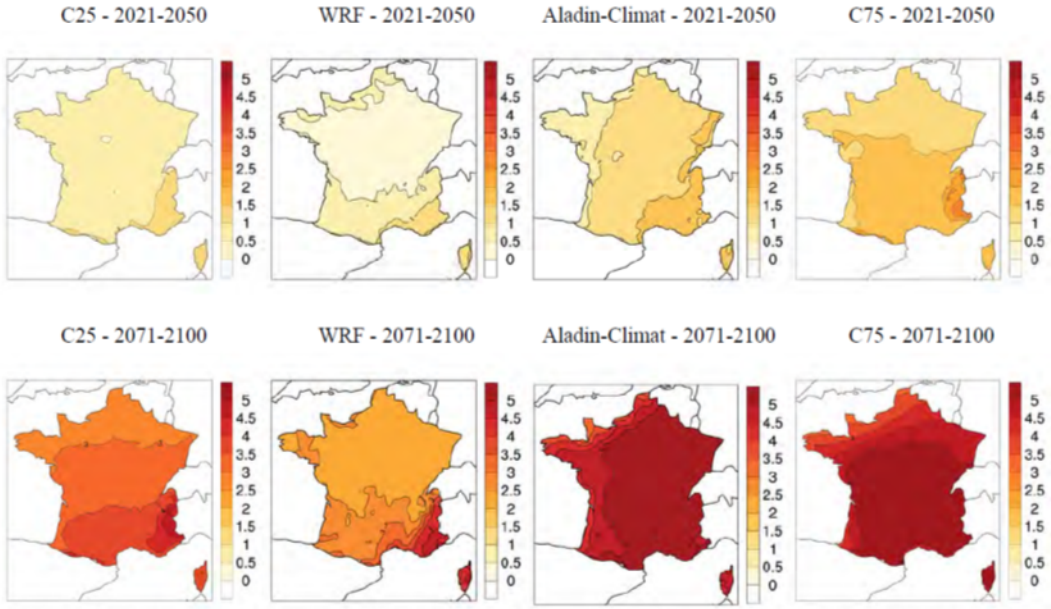


Figure 7: Écarts de température estivale (°C) en France relativement à la référence 1976-2005, pour le scénario RCP8.5, aux horizons 2021-2050 et 2071-2100. Pour chaque ligne, de gauche à droite : 25e centile de l'ensemble, WRF, Aladin-Climat, 75e centile de l'ensemble.

Source :
Le climat de la France au XXIe siècle.
Volume 4 : Scénarios régionalisés : édition 2014 pour la métropole et les régions d'outre-mer.
G. Ouzeau, M. Déqué, M. Jouini, S. Planton, R. Vautard
Sous la direction de Jean Jouzel
Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie

Précipitations hivernales

RCP 4.5

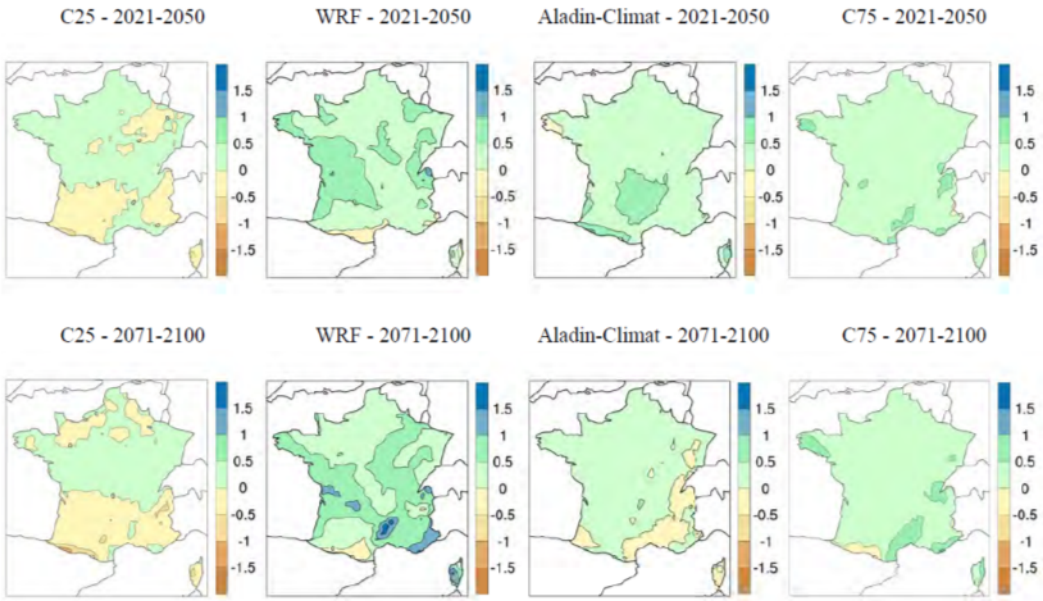


Figure 9: Écarts de précipitations hivernales (mm/jour) en France relativement à la référence 1976-2005, pour le scénario RCP4.5, aux horizons 2021-2050 et 2071-2100. Pour chaque ligne, de gauche à droite : 25e centile de l'ensemble, WRF, Aladin-Climat, 75e centile de l'ensemble.

Voir également :
Portail DRIAS, Météo-France
www.drias-climat.fr

RCP 8.5

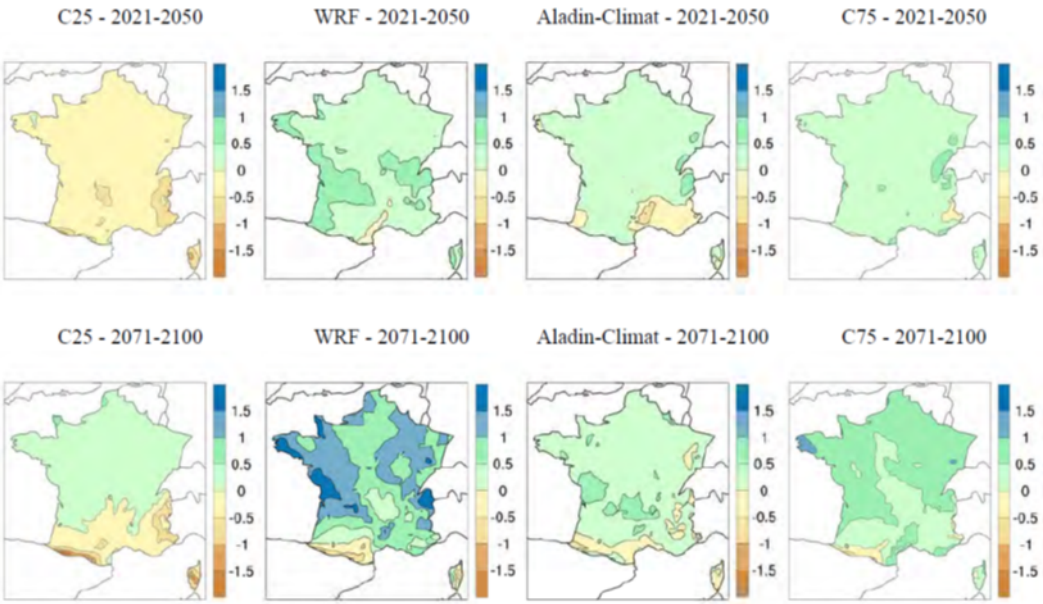


Figure 10: Écarts de précipitations hivernales (mm/jour) en France relativement à la référence 1976-2005, pour le scénario RCP8.5, aux horizons 2021-2050 et 2071-2100. Pour chaque ligne, de gauche à droite : 25e centile de l'ensemble, WRF, Aladin-Climat, 75e centile de l'ensemble.

Source :
Le climat de la France au XXIe siècle.
Volume 4 : Scénarios régionalisés : édition 2014 pour la métropole et les régions d'outre-mer.
G. Ouzeau, M. Déqué, M. Jouini, S. Planton, R. Vautard
Sous la direction de Jean Jouzel
Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie

Précipitations estivales

RCP 4.5

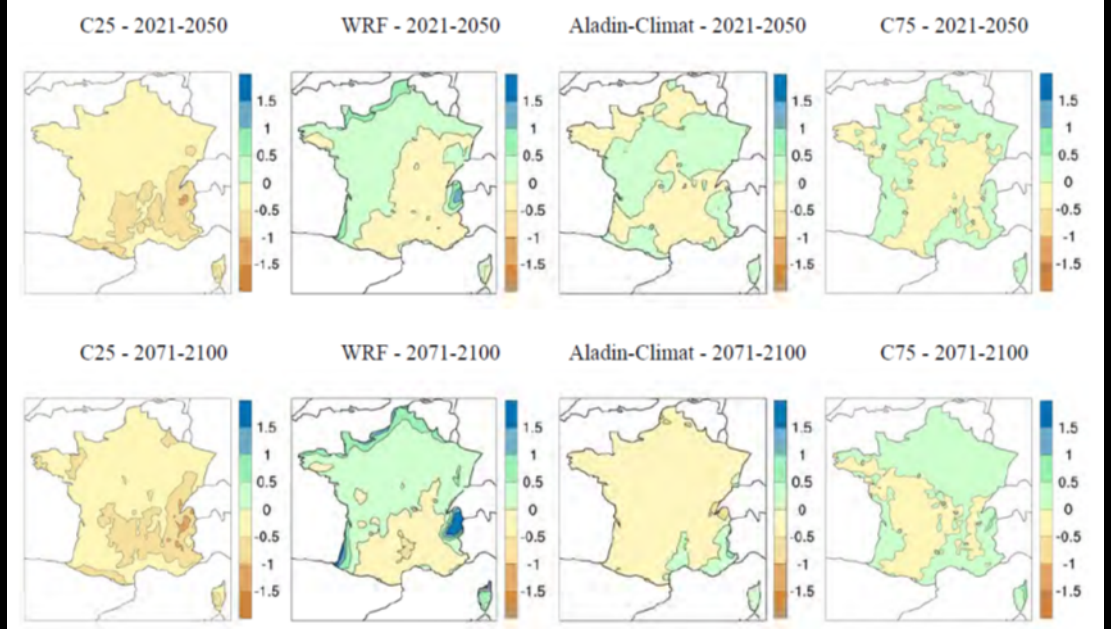


Figure 11: Écarts de précipitations estivales (mm/jour) en France relativement à la référence 1976-2005, pour le scénario RCP4.5, aux horizons 2021-2050 et 2071-2100. Pour chaque ligne, de gauche à droite : 25e centile de l'ensemble, WRF, Aladin-Climat, 75e centile de l'ensemble.

Voir également :
Portail DRIAS, Météo-France
www.drias-climat.fr

RCP 8.5

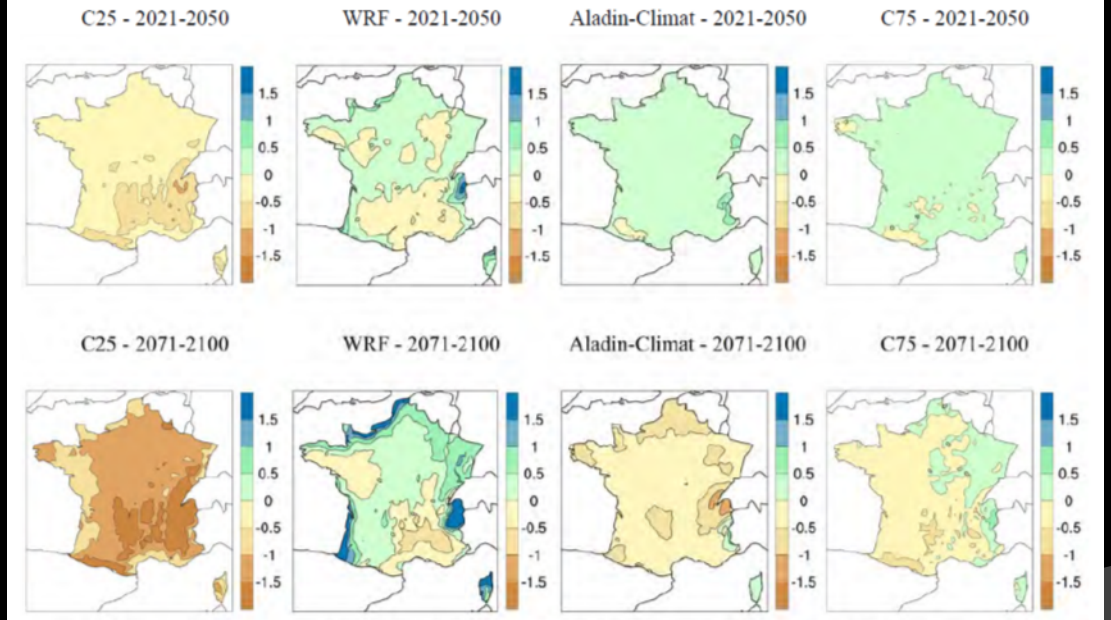
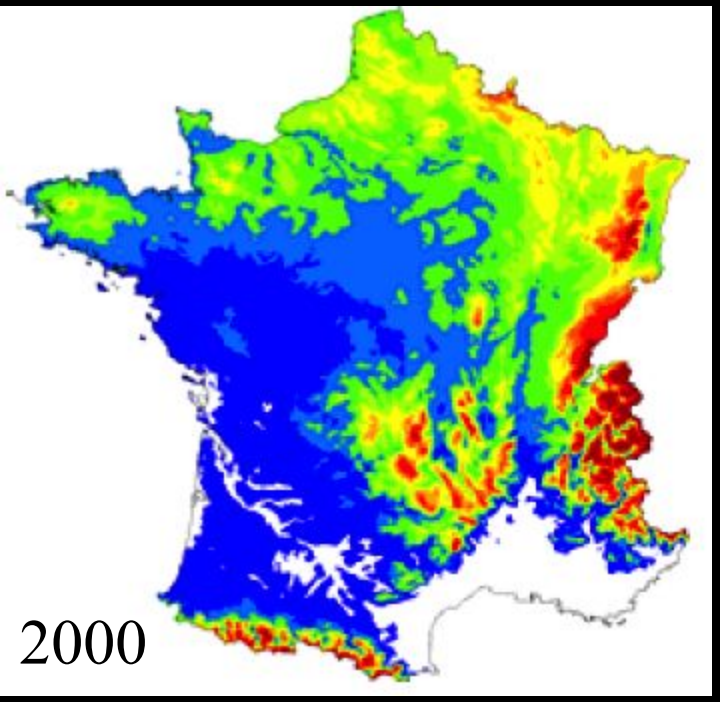
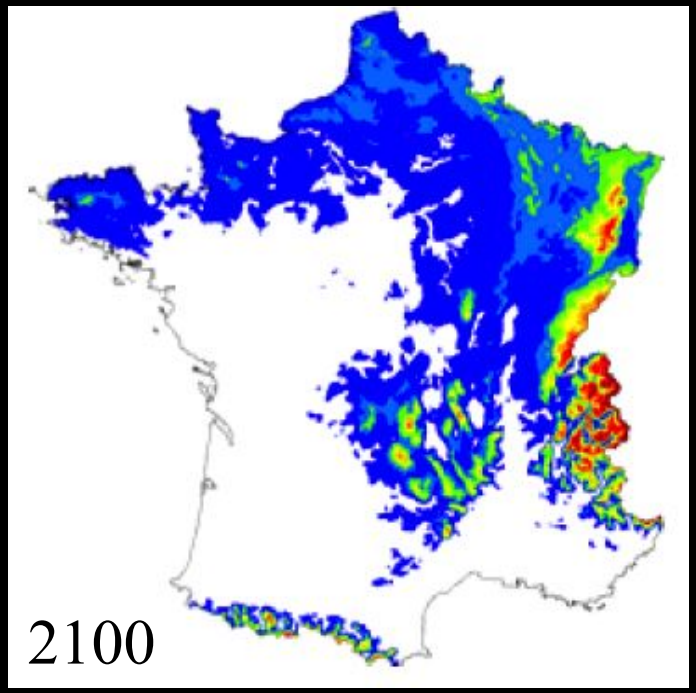


Figure 12: Écarts de précipitations estivales (mm/jour) en France relativement à la référence 1976-2005, pour le scénario RCP8.5, aux horizons 2021-2050 et 2071-2100. Pour chaque ligne, de gauche à droite : 25e centile de l'ensemble, WRF, Aladin-Climat, 75e centile de l'ensemble.

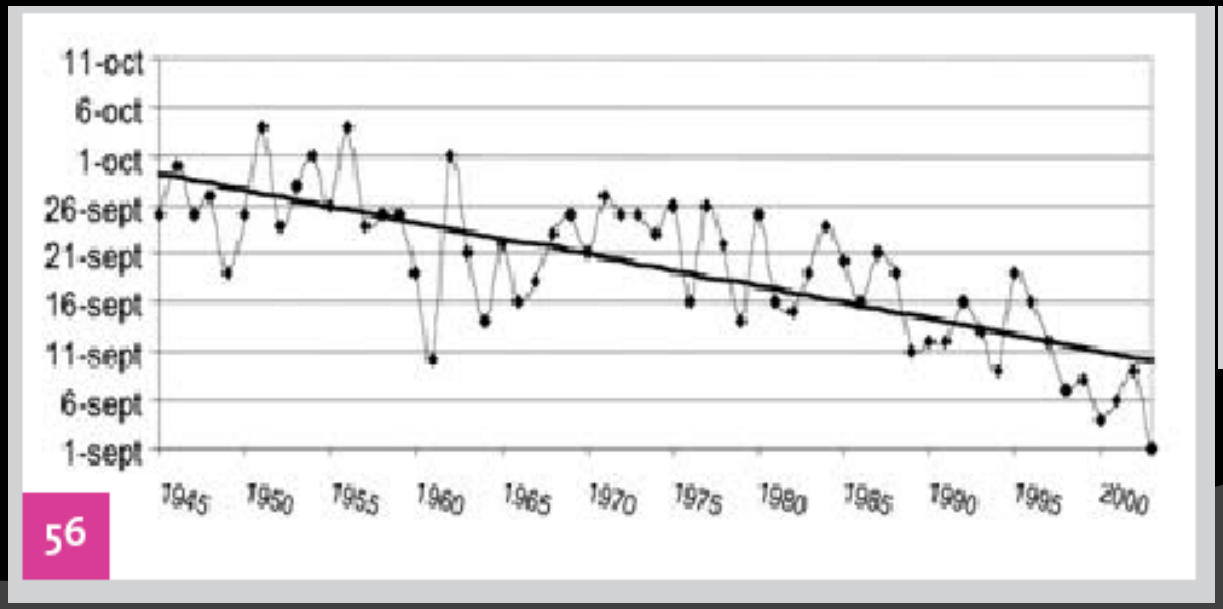
Source :
Le climat de la France au XXIe siècle.
Volume 4 : Scénarios régionalisés : édition 2014 pour la métropole et les régions d'outre-mer.
G. Ouzeau, M. Déqué, M. Jouini, S. Planton, R. Vautard
Sous la direction de Jean Jouzel
Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie





Aire potentielle de répartition du hêtre

http://www.nancy.inra.fr/



Evolution de la période des vendanges à Châteauneuf-du-Pape (Côtes-du-Rhône méridionales) entre 1945 et 2000.
© Institut Rhodanien

Des cultures plus précoces sont plus sensibles au gel…

De Kyoto (COP-3, 1997) à Paris 2015 (COP21) : Quels enjeux ?

Emissions mondiales de GES = **50 milliards de tonnes** équivalent CO_2 en 2010. Elles ont augmenté de +2%/an de 2000 à 2015…

Pour respecter **l'objectif des 2°C**, les émissions cumulées de GES devraient être inférieures à 2900 milliards de tonnes équivalent CO_2 entre l'ère préindustrielle et 2100.

Or, 1 900 milliards de tonnes déjà émises jusqu'en 2011…
→ il faudrait limiter les émissions d'ici à 2100 à un total de 1000 milliards de tonnes, soit **20 ans d'émissions au rythme actuel**…

Objectif : baisser les émissions mondiales de 40% à 70% d'ici à 2050 (par rapport au niveau de 2010) et atteindre une économie quasiment neutre en carbone ensuite …

Des accords globaux à leur traduction sur les territoires : les PCAET

Le PCAET vise deux objectifs :

- **l'atténuation** : limiter l'impact du territoire sur le climat en réduisant les émissions de gaz à effet de serre (GES) ;
- **l'adaptation** : réduire la vulnérabilité du territoire.

Un PCAET comporte des objectifs chiffrés de réduction des émissions de GES et d'adaptation du territoire :

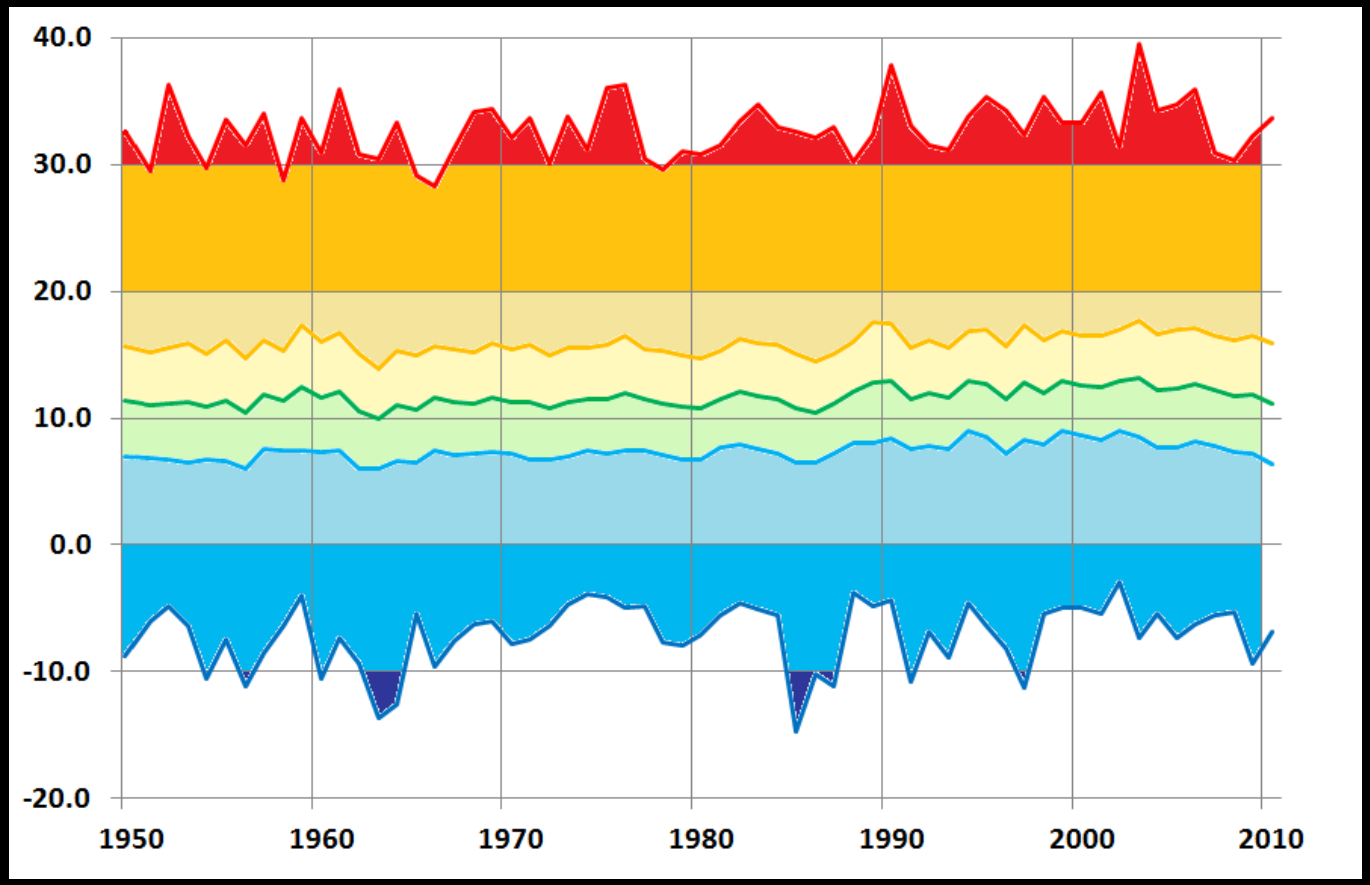
Pour 2020, les « 3 X 20 % » de l'Union Européenne :

- réduire de 20 % les émissions de GES ;
- améliorer de 20 % l'efficacité énergétique ;
- porter à 20 % la part des énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie.

Pour 2050 en France : le **facteur 4** (diviser par 4 ses émissions de GES sur la base de 1990).

Quels impacts à Rennes ?
L'îlot de Chaleur urbain (ICU)

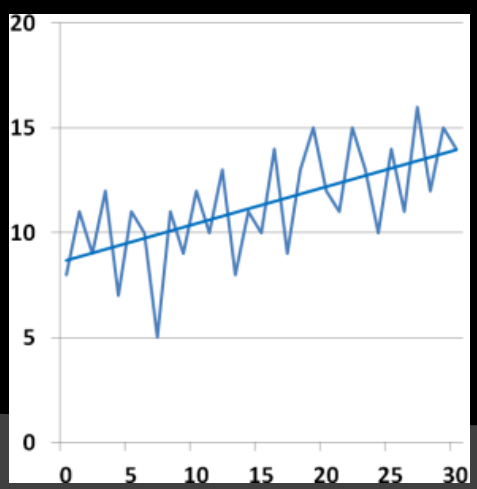
Depuis 2008, plus de la moitié de la population mondiale vit en ville
→ Devrait passer à 66% en 2050 (→ 6 à 7 milliards de citadins !).

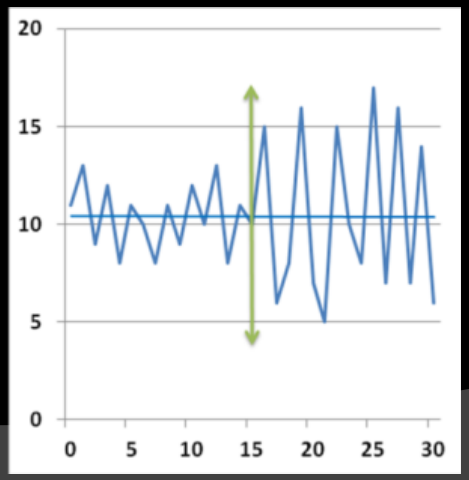


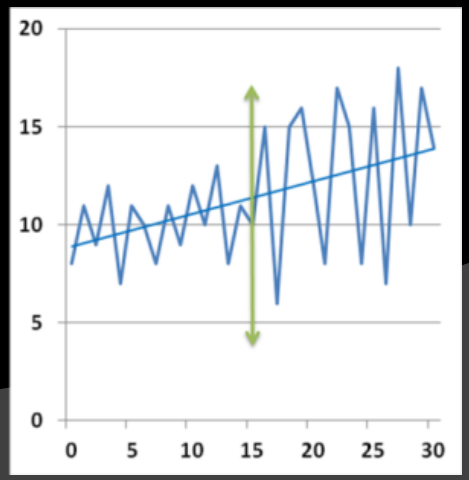
Variabilité des températures (en °C.) à Rennes de 1950 à 2010.

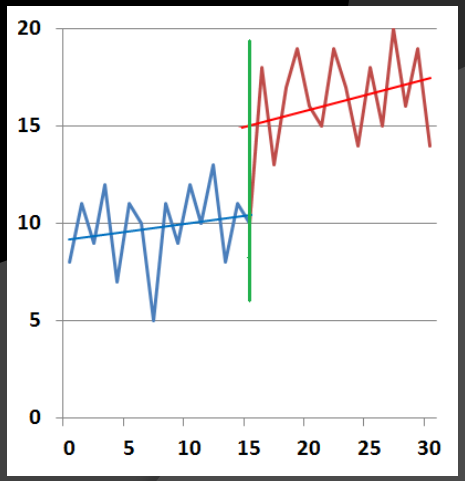
Pour chaque année, sont indiqués le maximum absolu (courbe rouge), le minimum absolu (courbe bleue), la moyenne des maxima (courbe orange), la moyenne des minima (courbe bleu clair) et la moyenne annuelle (courbe verte).

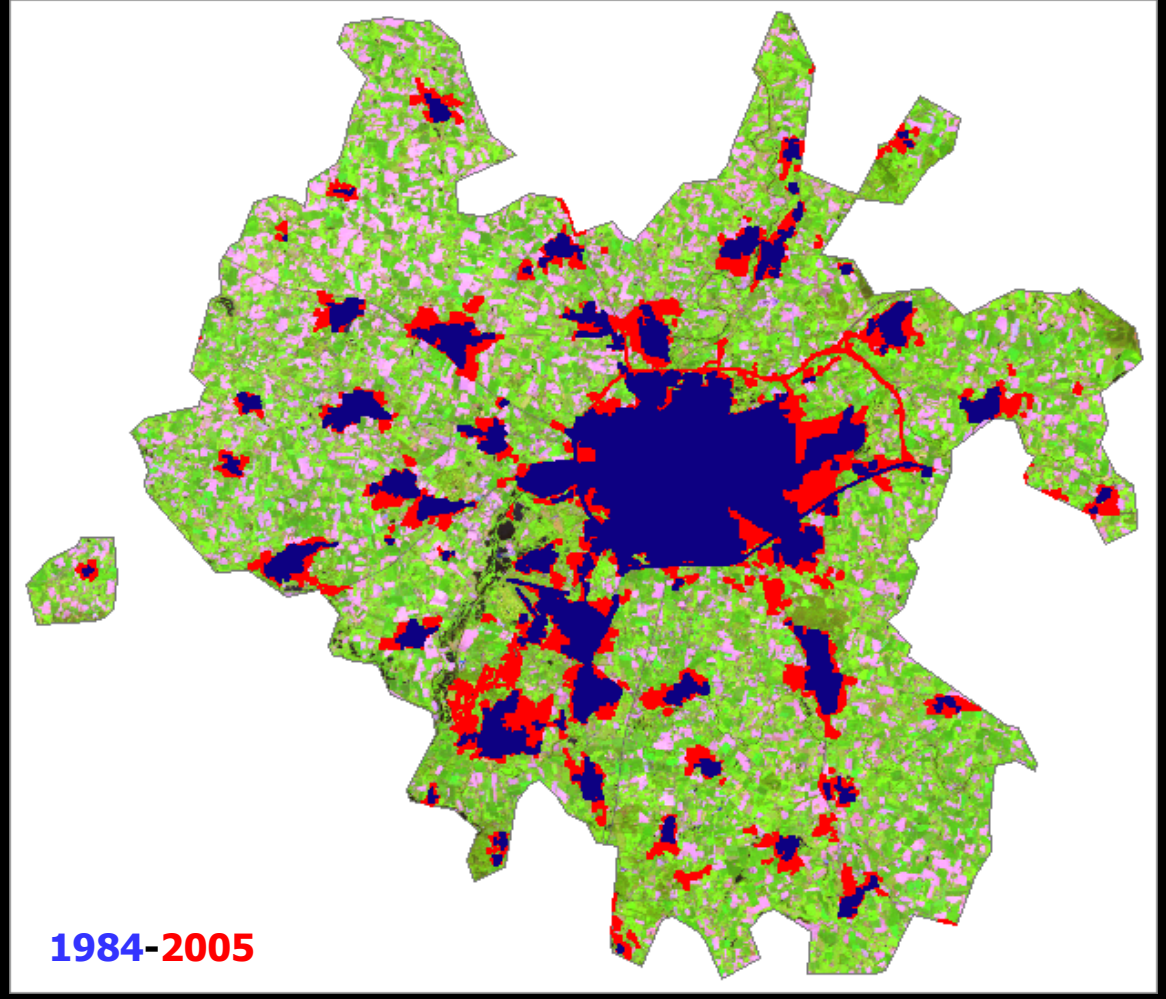
Vincent Dubreuil, COSTEL-LETG UMR 6554 CNRS , Université Rennes 2











Evolution de la tache urbaine de Rennes (R.Aguejdad, 2008)

Depuis 2003 le projet ECORURB (puis la ZAA-OSUR) réunit des chercheurs de disciplines différentes : géographie, climatologie, écologie, biologie.
INRA, CNRS, UR1, UR2

Mise en place d'un réseau d'observation spécifique à Rennes

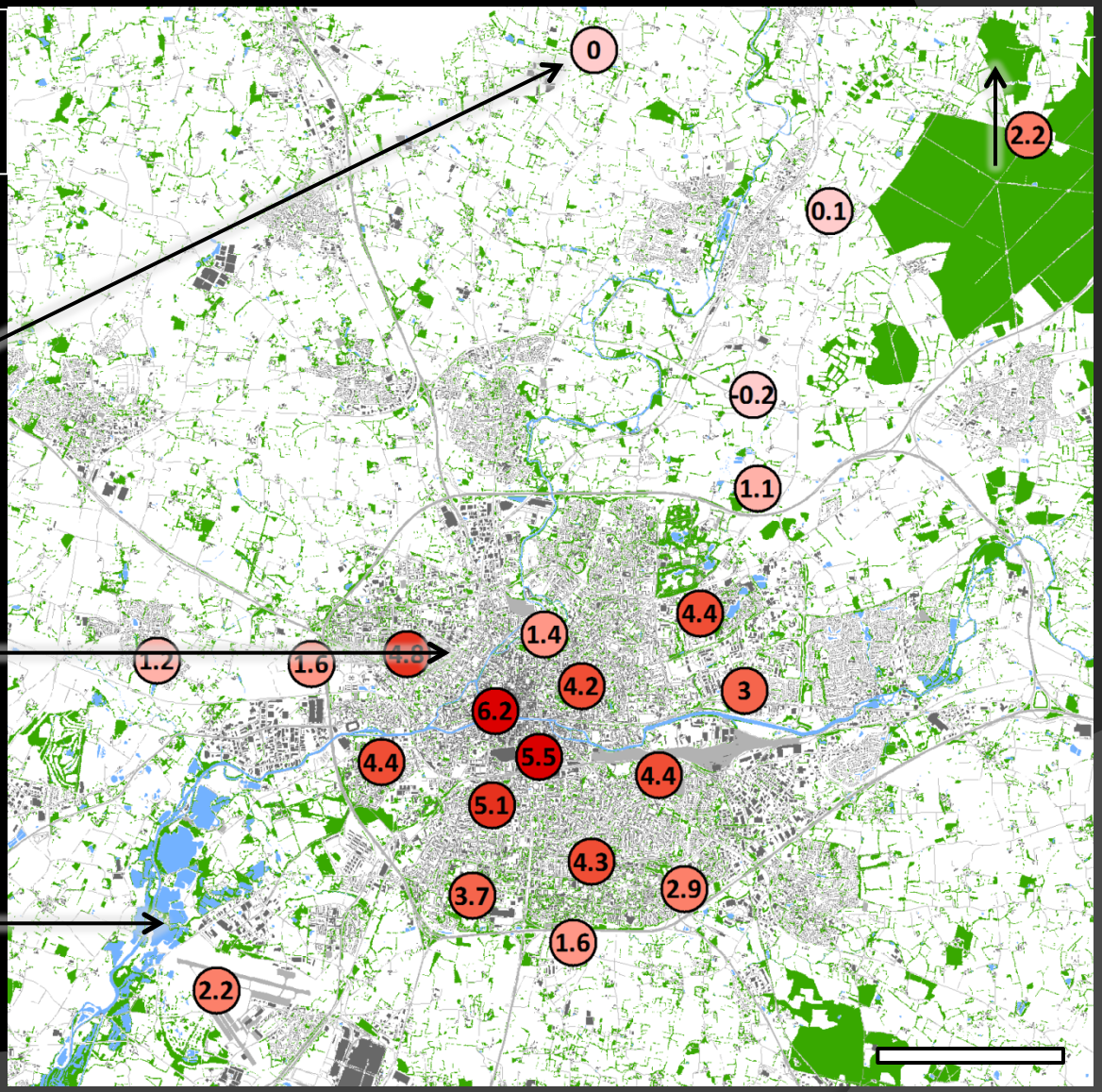
L'ILOT DE CHALEUR URBAIN A RENNES

Ecart avec la campagne des températures minimales observées la nuit du 23 mai 2011

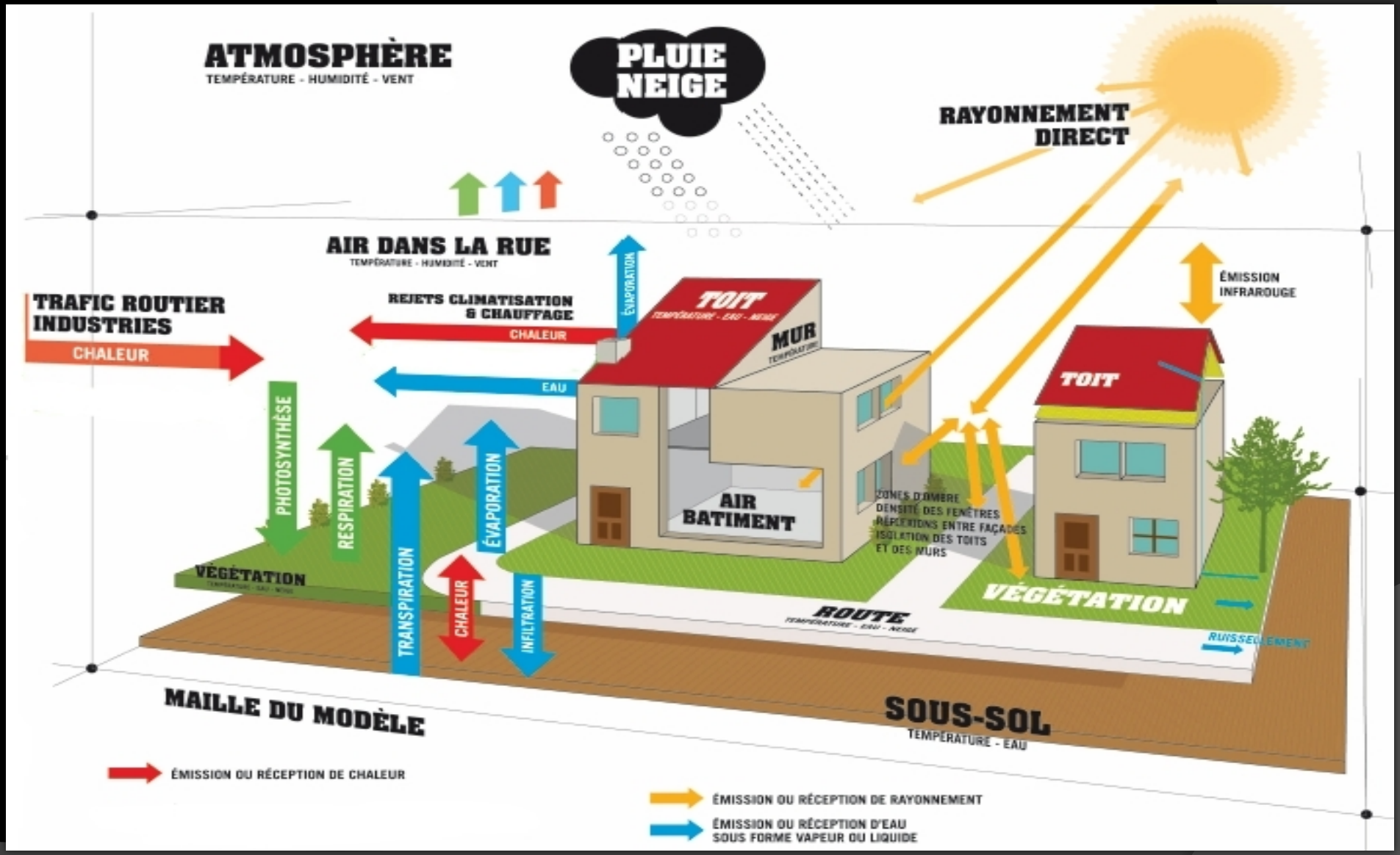
Melesse *(station campagne référence)*

Griffon *(station centre-ville référence)*

St Jacques Météo-France *(station synoptique référence)*



DEFINITIONS DE L'ILOT DE CHALEUR URBAIN



CNRM, 2010

L'îlot de chaleur urbain

Le gradient climatique ville-campagne apparaît comme le gradient climatique majeur aux échelles fines dans les régions de plaines.

La spécificité du bilan radiatif en ville favorise la mise en place d'un ***Ilot de Chaleur Urbain*** **(ICU).**

- absorption du rayonnement solaire par les matériaux pendant la journée
- lente restitution sous forme de chaleur sensible durant la nuit
- phénomènes évapotranspiratoires réduits en ville par rapport à la campagne

L'intensité et l'extension spatiale de l'ICU dépendent :

- du site de la ville, de sa morphologie
- des conditions climatiques régionales et des types de circulation et de temps
- l'ICU apparaît d'autant plus nettement que le vent dominant est faible, que l'air est stable (situation anticyclonique) et que le ciel est clair.

Les grandes métropoles bénéficient de réseaux météorologiques denses qui ont déjà permis des analyses spatiales fines # réseaux de mesures inexistants pour les villes moyennes.

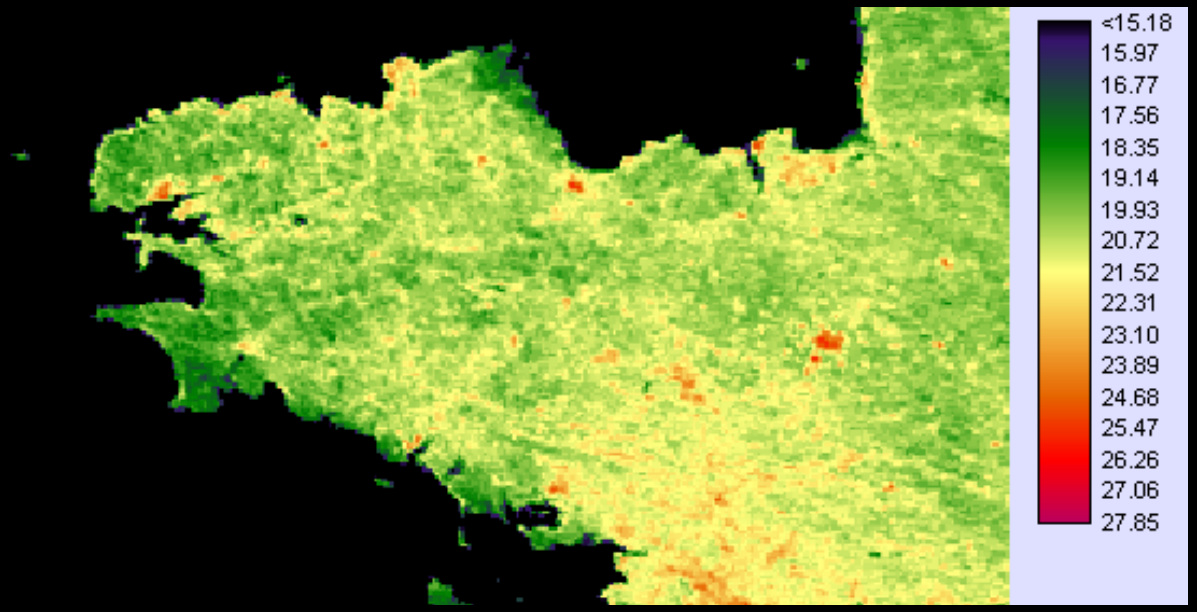


Image satellite infrarouge NOAA

(10 mars 1997, 14h)

Ne pas confondre :
Îlot de chaleur de surface
Et îlot de chaleur urbain

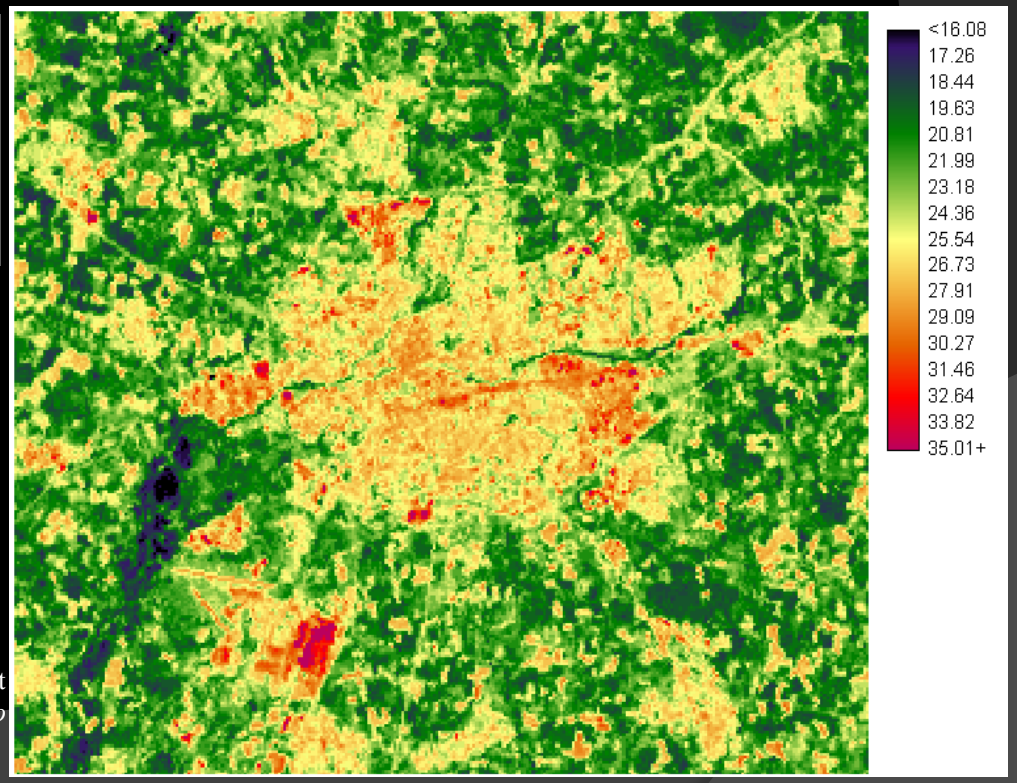
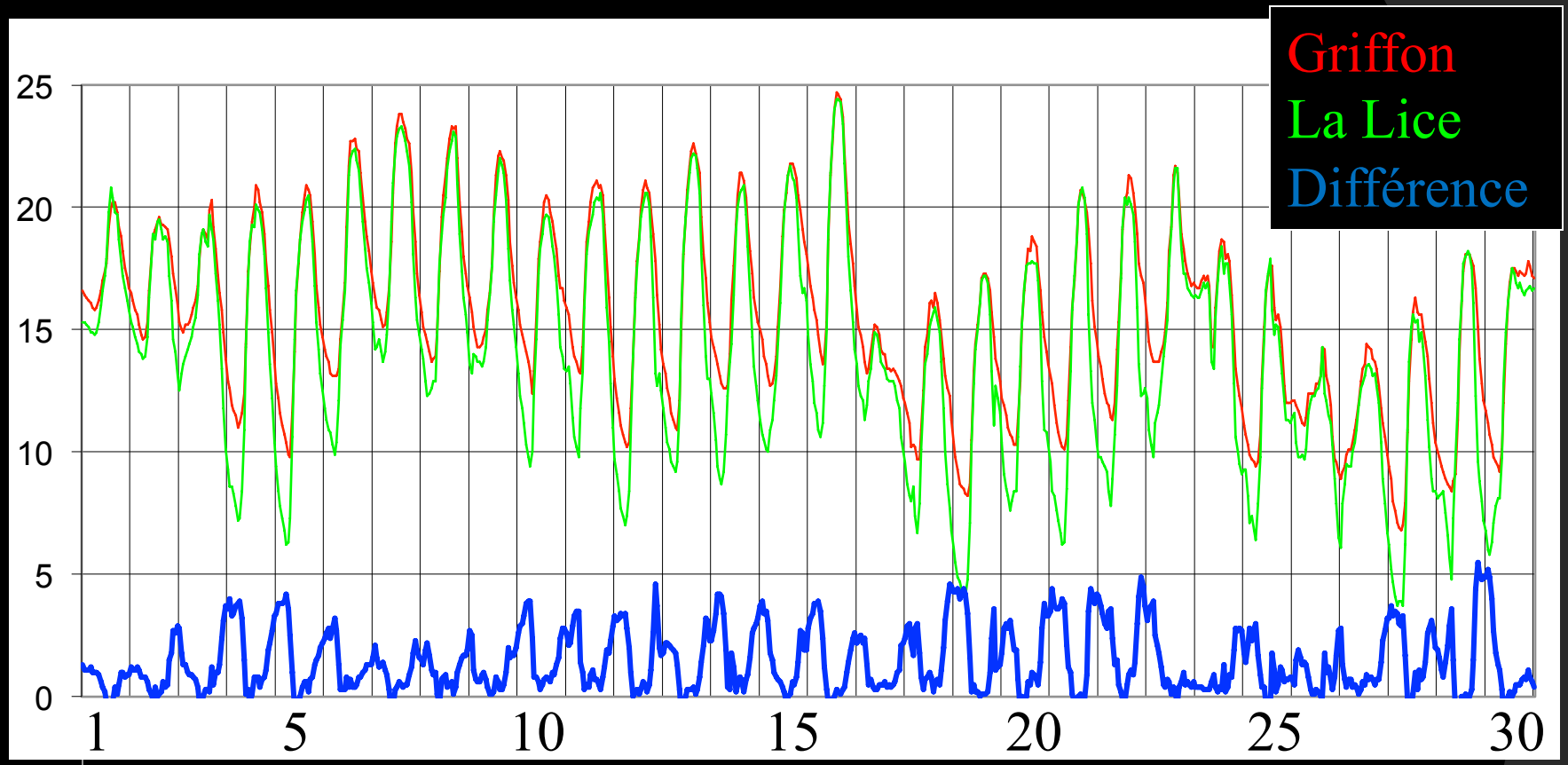


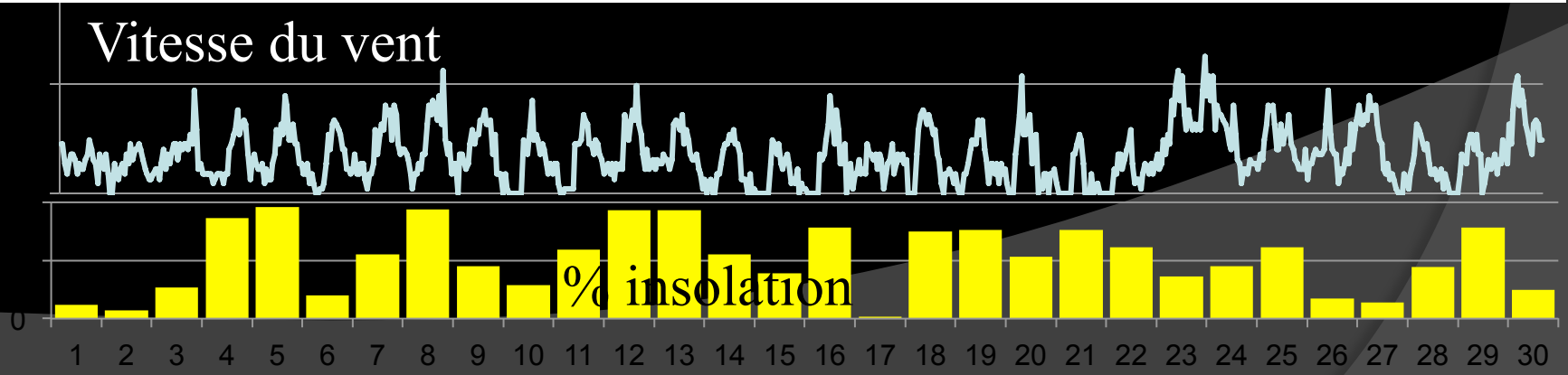
Image satellite infrarouge Landsat

(21 mai 2001, 10h30)

QUENOL H., BRIDIER S., VERGNE O., DUBREUIL V., 2007 : Apport de la géomatique pour la caractérisation de l'Ilot de Chaleur Urbain à Rennes (France); *XIII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto* ; INPE, Florianopolis, avril 2007 pp.5467-5469

Températures (Rennes, septembre 2007)





Températures moyennes horaires 2007 : Différence entre Griffon (centre) et La Lice (campagne)

Heure	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
J	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	0.6	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	**0.8**
F	1.0	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8	0.9	0.7	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5	0.6	0.8	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	**0.8**
M	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2.0	1.9	1.4	0.7	0.4	0.4	0.5	0.4	0.6	0.6	0.6	0.7	0.9	1.3	1.7	1.9	1.9	1.9	**1.3**
A	2.2	2.4	2.6	2.6	2.5	2.6	2.5	1.8	0.9	0.4	0.5	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.6	0.8	1.0	1.3	2.0	2.2	2.1	2.3	**1.5**
M	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	0.9	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.8	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	**0.8**
J	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.1	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	1.1	1.2	1.4	**0.8**
J	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.6	0.6	0.6	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.9	1.1	1.2	1.2	**0.7**
A	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.6	0.9	0.8	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7	0.8	1.2	1.6	1.8	1.9	**1.1**
S	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.4	2.2	1.7	0.8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.9	1.6	2.1	2.4	2.4	2.5	**1.5**
O	2.0	1.9	2.0	2.0	2.0	1.9	1.7	1.7	1.4	0.6	0.5	0.4	0.2	0.2	0.4	0.3	0.4	0.7	1.3	1.9	2.1	2.1	1.9	2.0	**1.3**
N	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.7	1.8	1.8	1.8	1.2	0.8	0.6	0.4	0.4	0.5	0.4	0.5	0.9	1.4	1.8	2.0	2.0	1.9	1.8	**1.4**
D	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.5	1.5	1.3	0.6	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	1.2	1.7	1.9	1.9	1.8	1.9	1.8	**1.2**
	1.6	**1.6**	**1.6**	**1.6**	**1.6**	**1.5**	**1.4**	**1.3**	**1.0**	**0.7**	**0.5**	**0.4**	**0.4**	**0.4**	**0.5**	**0.5**	**0.5**	**0.7**	**1.0**	**1.2**	**1.5**	**1.6**	**1.6**	**1.7**	**1.1**

DUBREUIL V., QUENOL H., PLANCHON O., CLERGEAU H., 2008: Variabilité quotidienne et saisonnière de l'îlot de chaleur urbain à Rennes : premiers résultats du programme ECORURB. Actes du *XXIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, pp.221-227

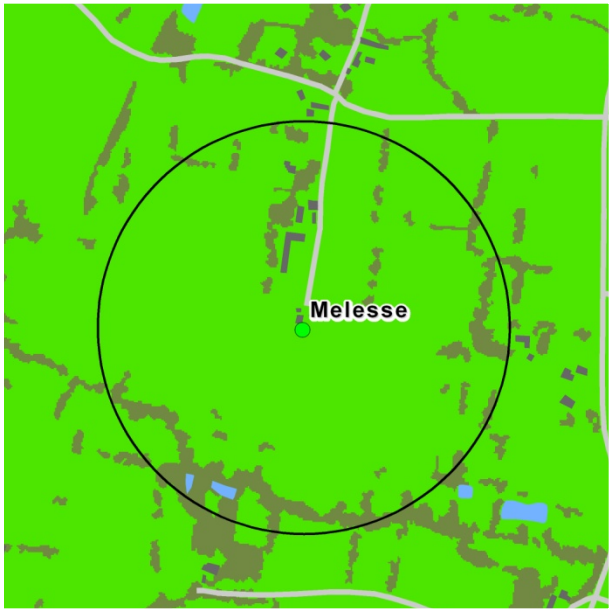
Modélisation de l'ICU à Rennes

Station référence du centre-ville

Griffon (zone tampon, r = 300m) :

- fraction bâti = 42%
- fraction de surfaces imperméables = 52%
- hauteur moyenne du bâti = 17,9 m
- fraction de végétation basse = 3%
- fraction de végétation haute = 0%
- fraction de végétation totale = 3%
- fraction de surfaces en eau = 3%
- altitude de la station = 32 m
- distance au centre-ville = 688 m

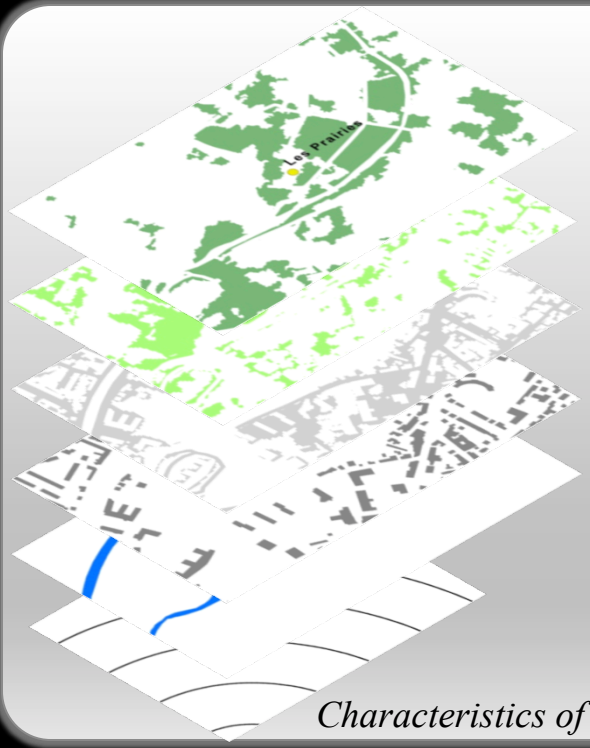
Station référence en campagne



Melesse (zone tampon, r = 300m) :

- fraction bâti = 1%
- fraction de surfaces imperméables = 1%
- hauteur moyenne du bâti = 7 m
- fraction de végétation basse = 10%
- fraction de végétation haute = 88%
- fraction de végétation totale = 98%
- fraction de surfaces en eau = 0%
- altitude de la station = 61 m
- distance au centre-ville = 10668 m

Modélisation de l'ICU à Rennes



High vegetation

Low vegetation

Impervious fraction

Built fraction and height buildings

Water surface fraction

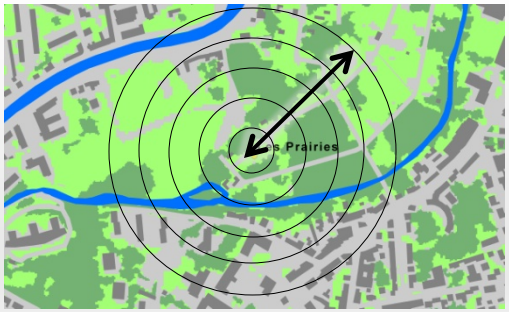
Altitude

Distance to center

Characteristics of land-use factor

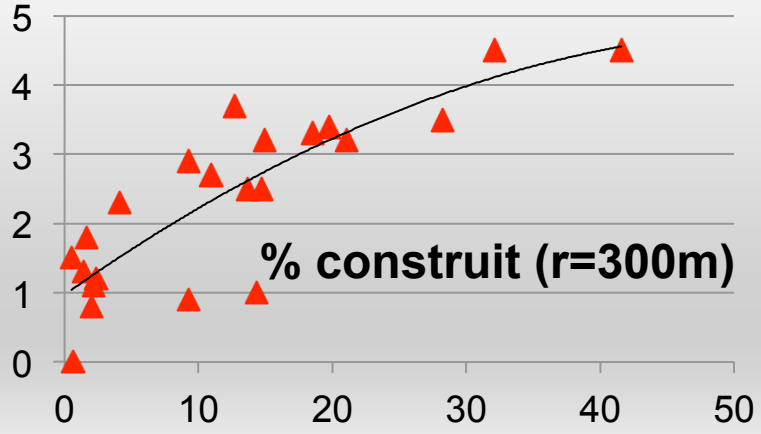
Buffers size of weather stations :

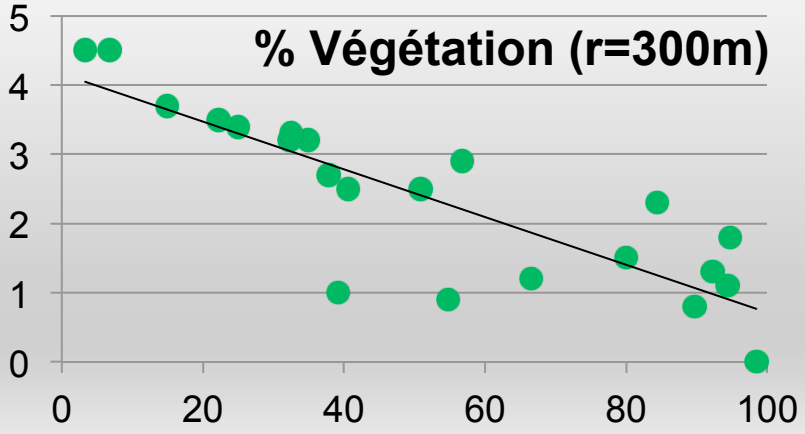
R50, R100, R200, R400, R500, R600, R700, R800, R900, R1000, R2000

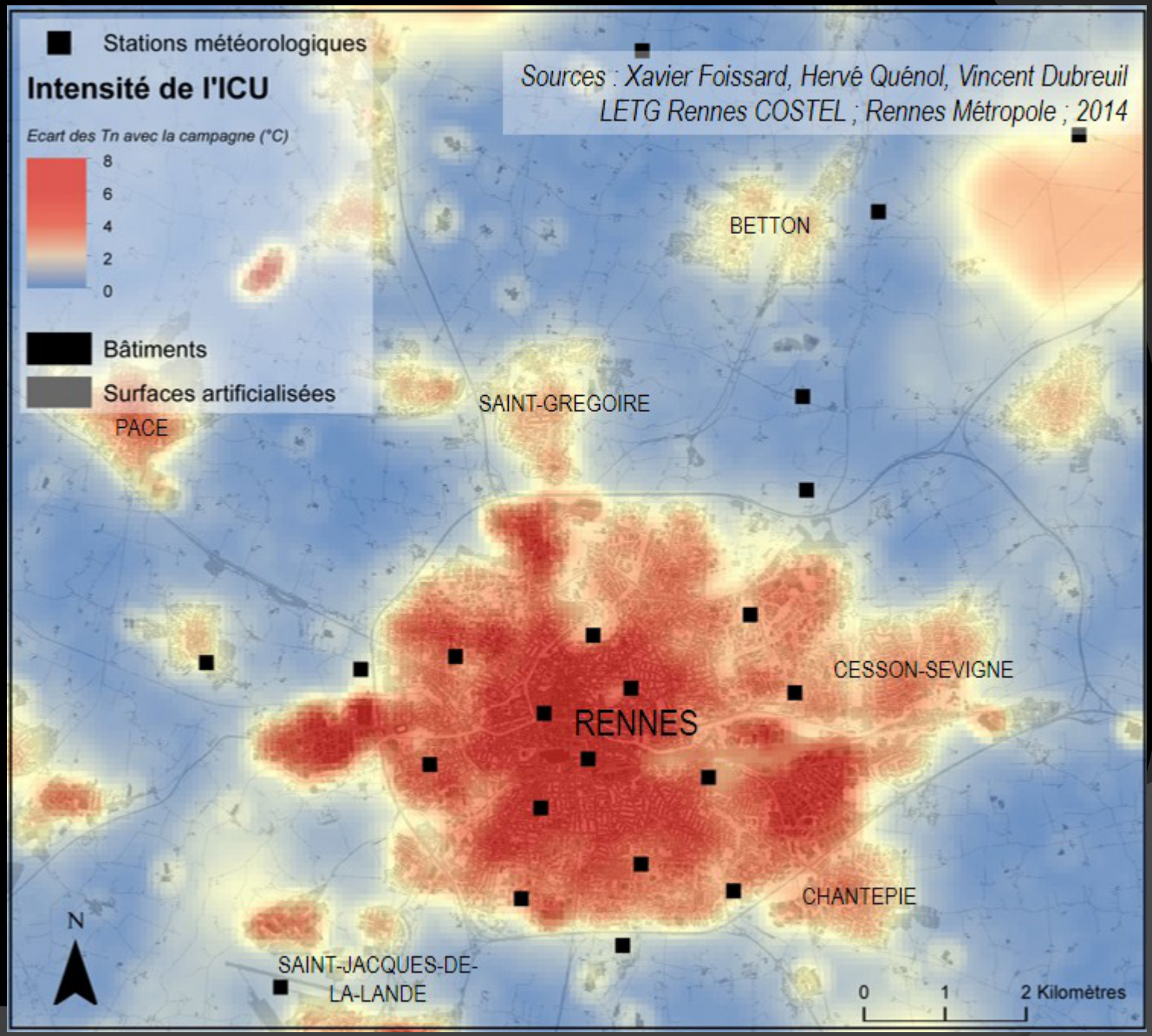


Regression models : *applied of linear multi-regression with selected regressors*

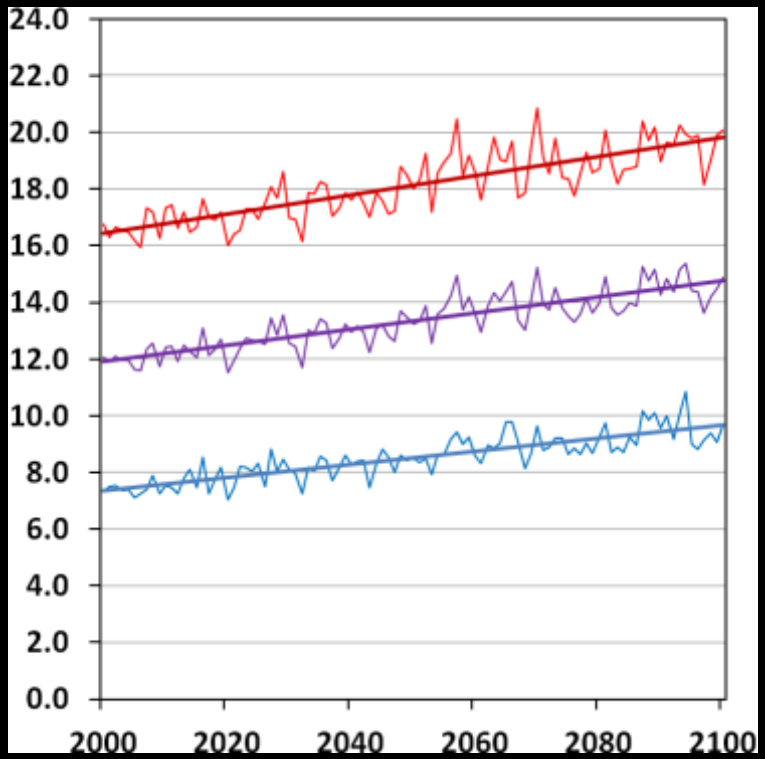
Intensité de l'ICU en fonction de l'occupation du sol



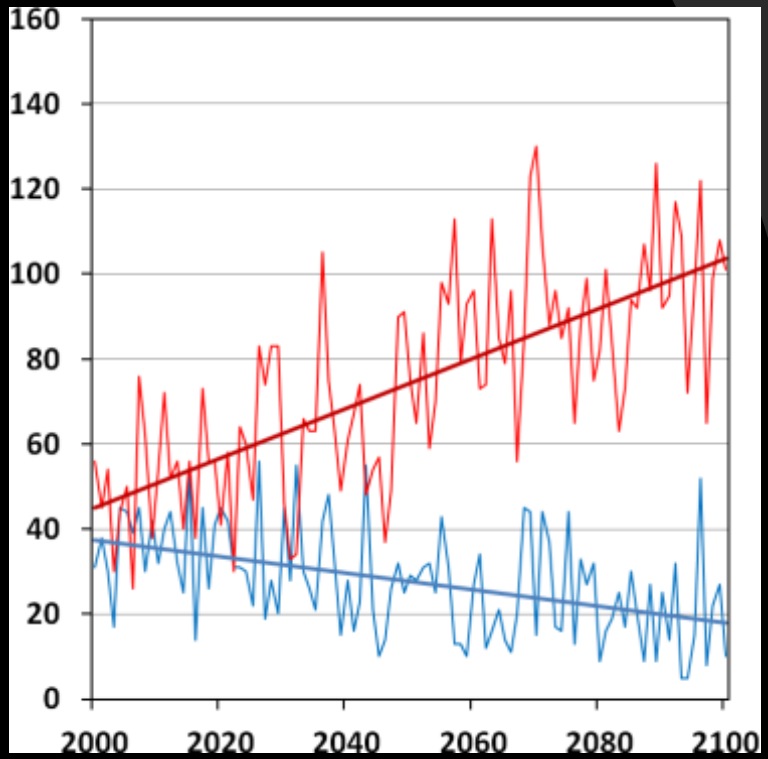



Stations météorologiques
Intensité de l'ICU
Ecart des Tn avec la campagne (°C)
8
6
4
2
0
Bâtiments
Surfaces artificialisées
Sources : Xavier Foissard, Hervé Quénol, Vincent Dubreuil
LETG Rennes COSTEL ; Rennes Métropole ; 2014
BETTON
SAINT-GREGOIRE
PACE
CESSON-SEVIGNE
RENNES
CHANTEPIE
SAINT-JACQUES-DE-LA-LANDE
N
0
1
2 Kilomètres

Le climat de Rennes dans le futur ?

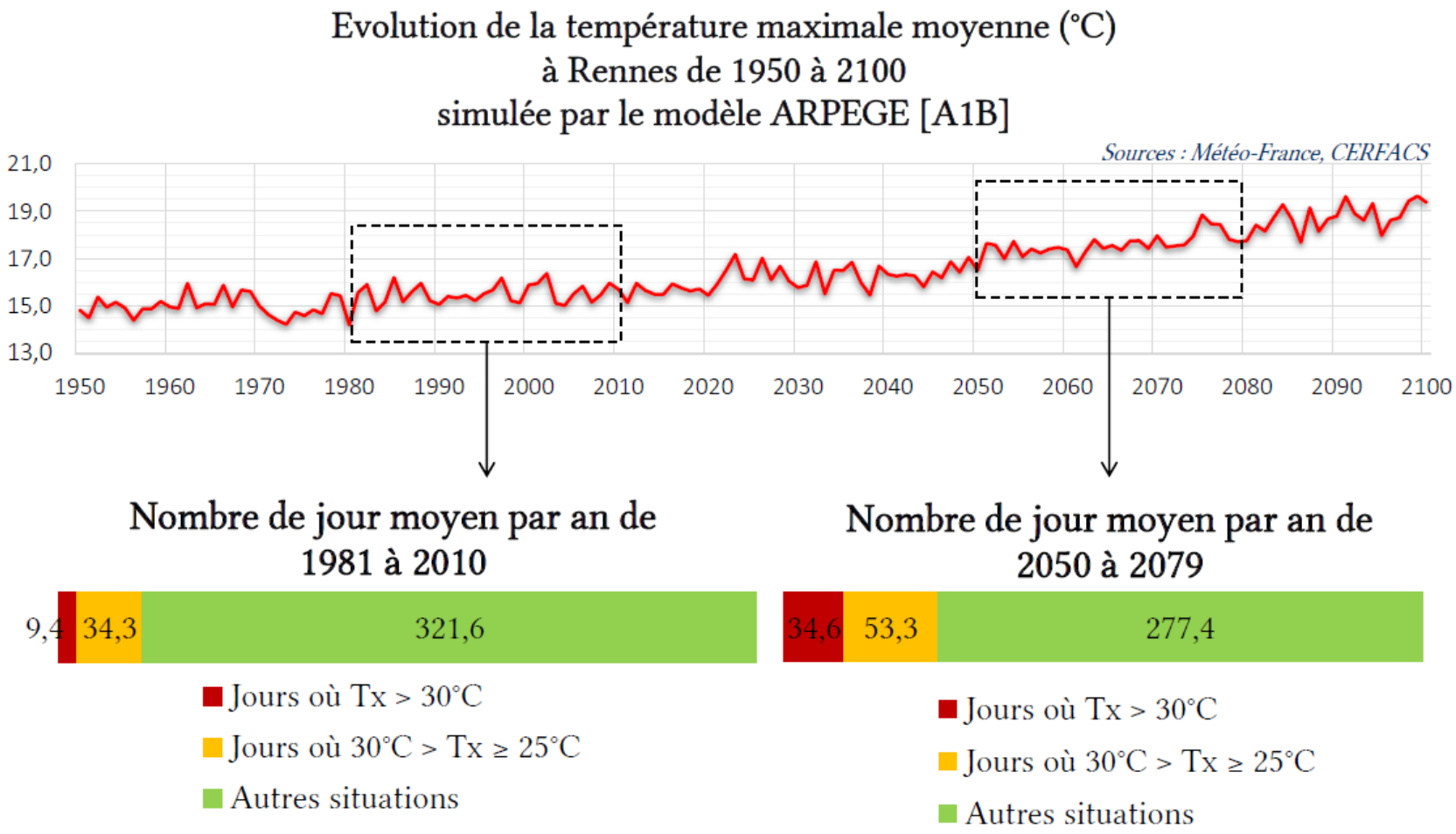


Evolution des températures **minimales** (en bleu) **maximales** (en rouge) et **moyennes** annuelles (en violet) à Rennes au cours du XXIe siècle.
Source : Modèle Arpège-Climat (Météo-France), scénario A1B

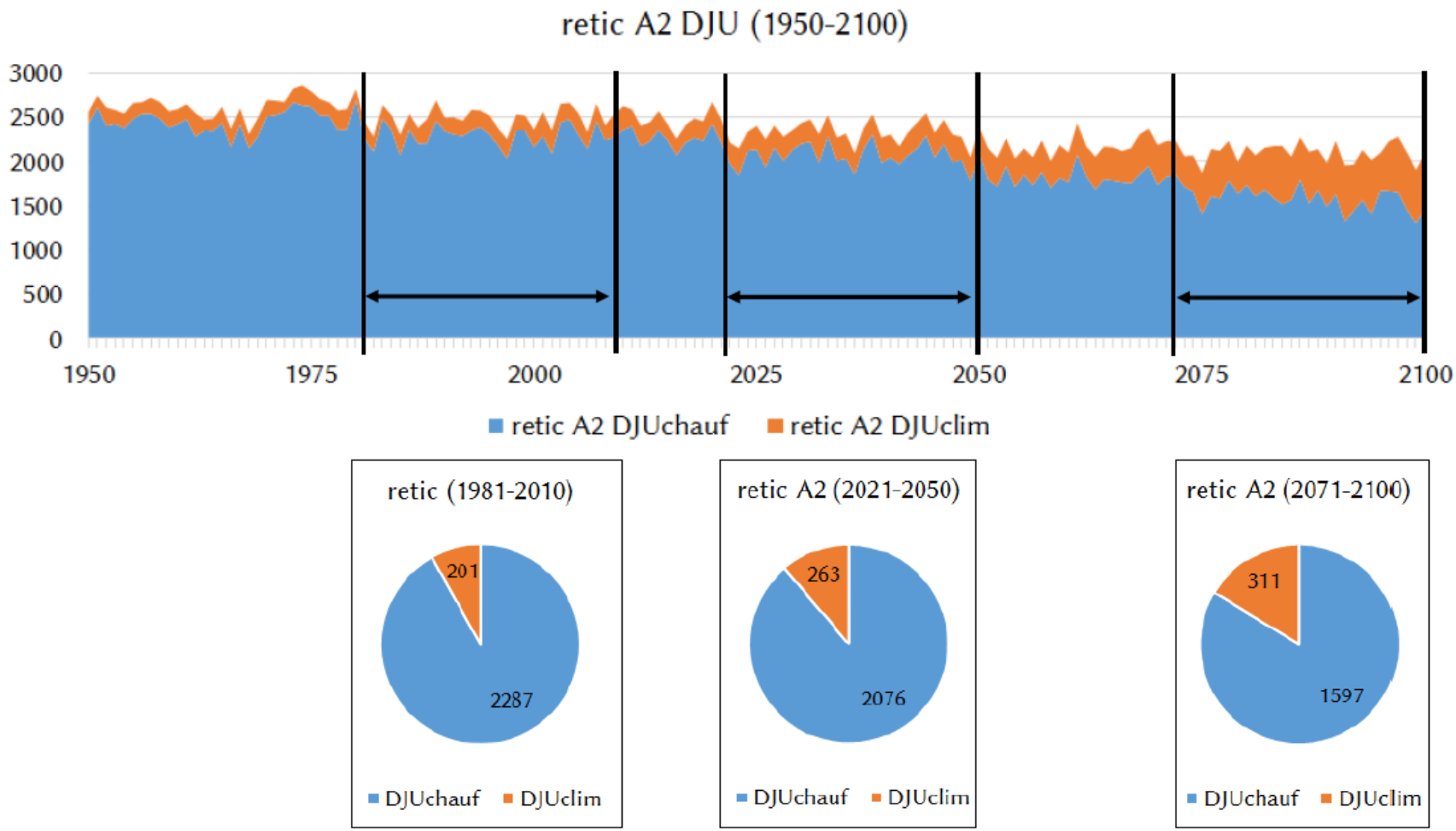


Evolution du nombre de **jours de gel** (en bleu, Tn < 0°C.) et du nombre de **jours chauds** (en rouge, Tx > 25°C) au XXIe siècle.
Source : Modèle Arpège-Climat (Météo-France), scénario A1B

Un changement climatique exacerbé en ville par l'ICU



Source : Foissard, Dubreuil, Quenol, 2015



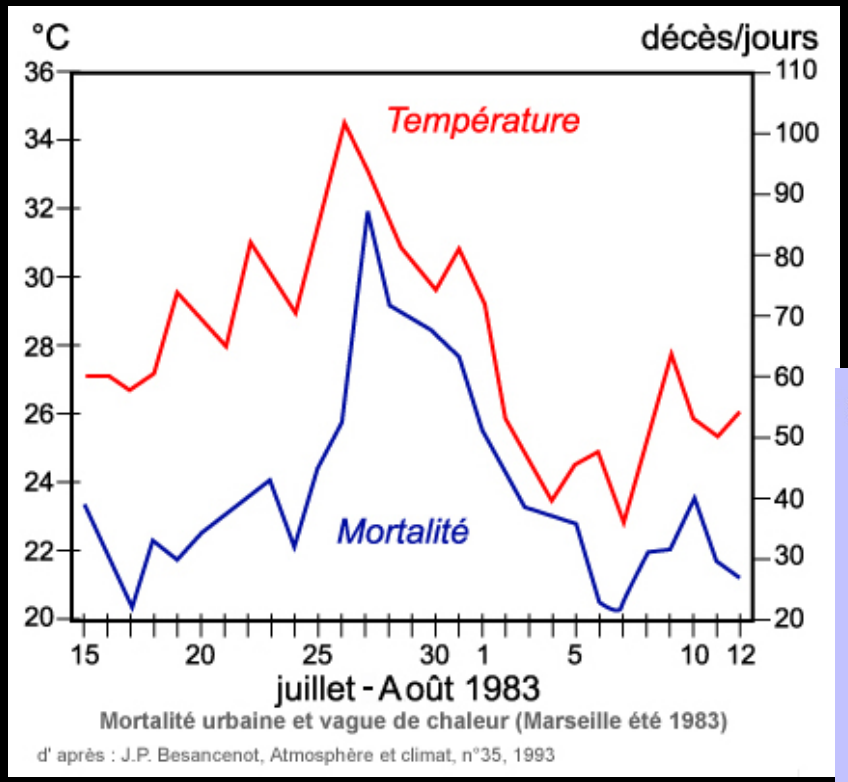
Evolution des besoins de chauffage et de climatisation à Rennes (en DJU) projetés par le modèle retic [A2] de 1950 à 2100

Sources : CERFACS, Météo France

- Les besoins énergétiques diminueraient de 24% avec une baisse des besoins de chauffage de -30%
- Augmentation des besoins en climatisation +20%

Source : Foissard, Dubreuil, Quenol, 2015

Mortalité urbaine et vague de chaleur : Marseille, été 1983 !



M Planète Le Monde

PLANÈTE | Climat | Énergies | Ressources naturelles | Biodiversité | Population | Agriculture & Alime

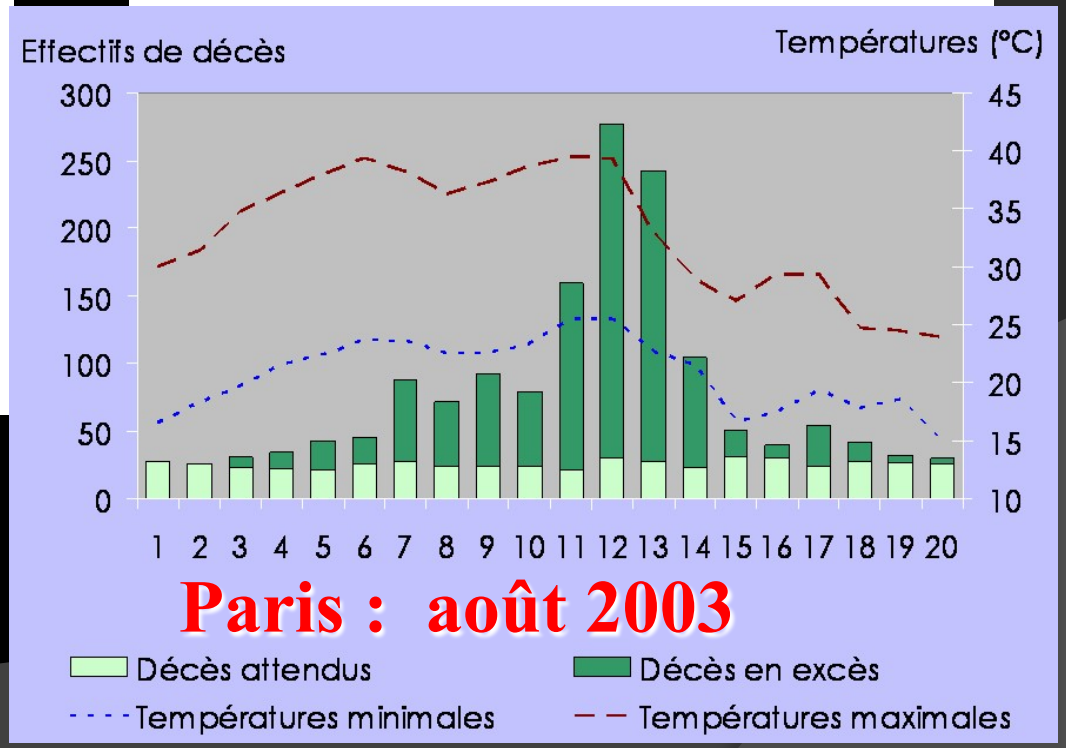
La canicule de l'été 2003 a fait plus de 70 000 morts en Europe, selon l'Inserm

Le Monde.fr avec AFP et Reuters | 23.03.2007 à 12h04 • Mis à jour le 23.03.2007 à 12h42

LECTURE ZEN | Abonnez-vous à partir de 1 € | Réagir | Classer | Partager

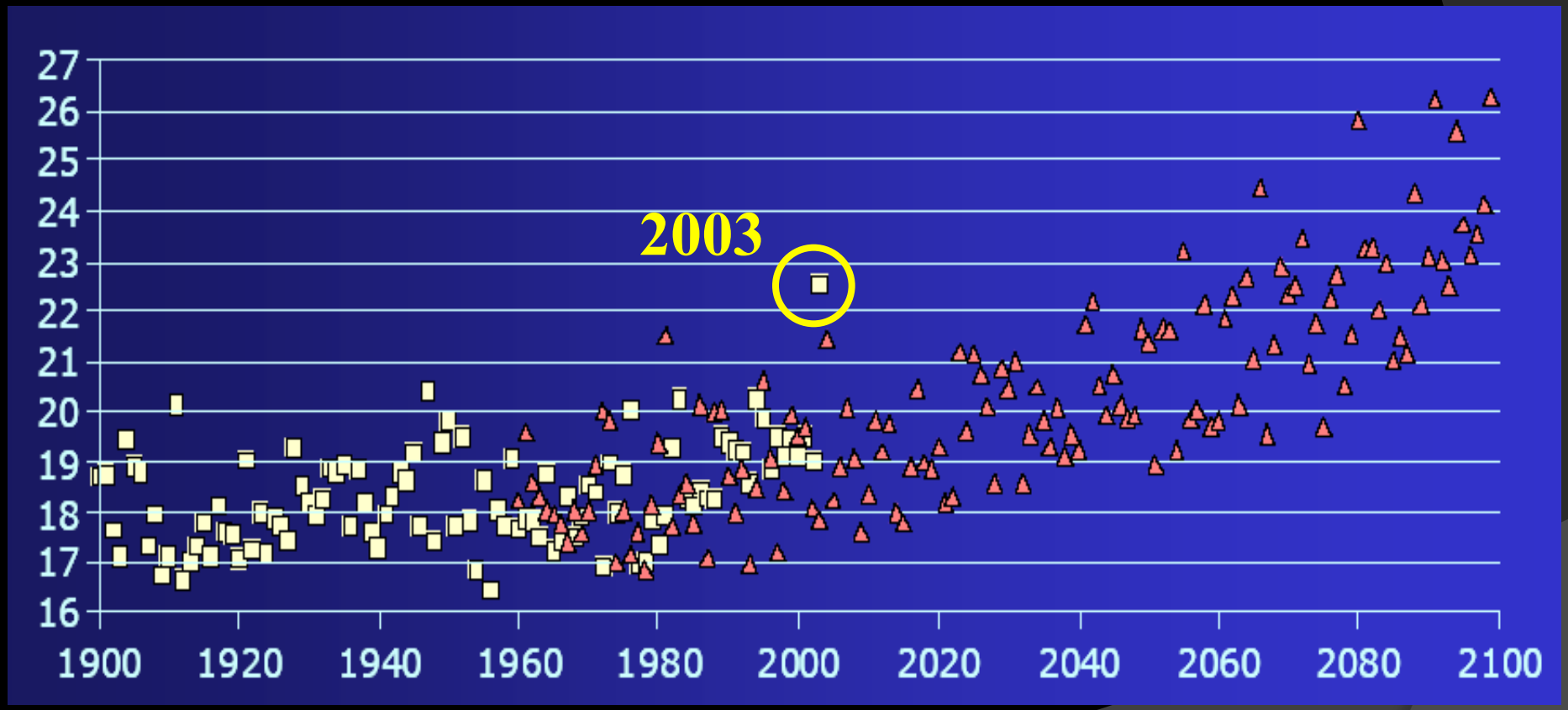
Recommander | Partager | 10 personnes le recommandent.

"Chacun se souvient des 15 000 décès supplémentaires causés par la vague de chaleur dans l'Hexagone en août 2003, mais, au final, la France et l'Italie ont totalisé le même nombre de décès supplémentaires au cours de cet été 2003." Ces propos de Jean-Marie Robine, directeur de recherche à l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm) – qui a coordonné pour le compte de l'Union européenne le projet Canicule – résument la teneur du rapport rendu public par l'institut, jeudi 22 mars.



http://u569.kb.inserm.fr/apsp/canicule.html

Evolution de la température moyenne en été en Françe : Observations 1900-2005 / modélisation (A1B) 1960-2100



Source : Serge Planton, CNRM, Météo France

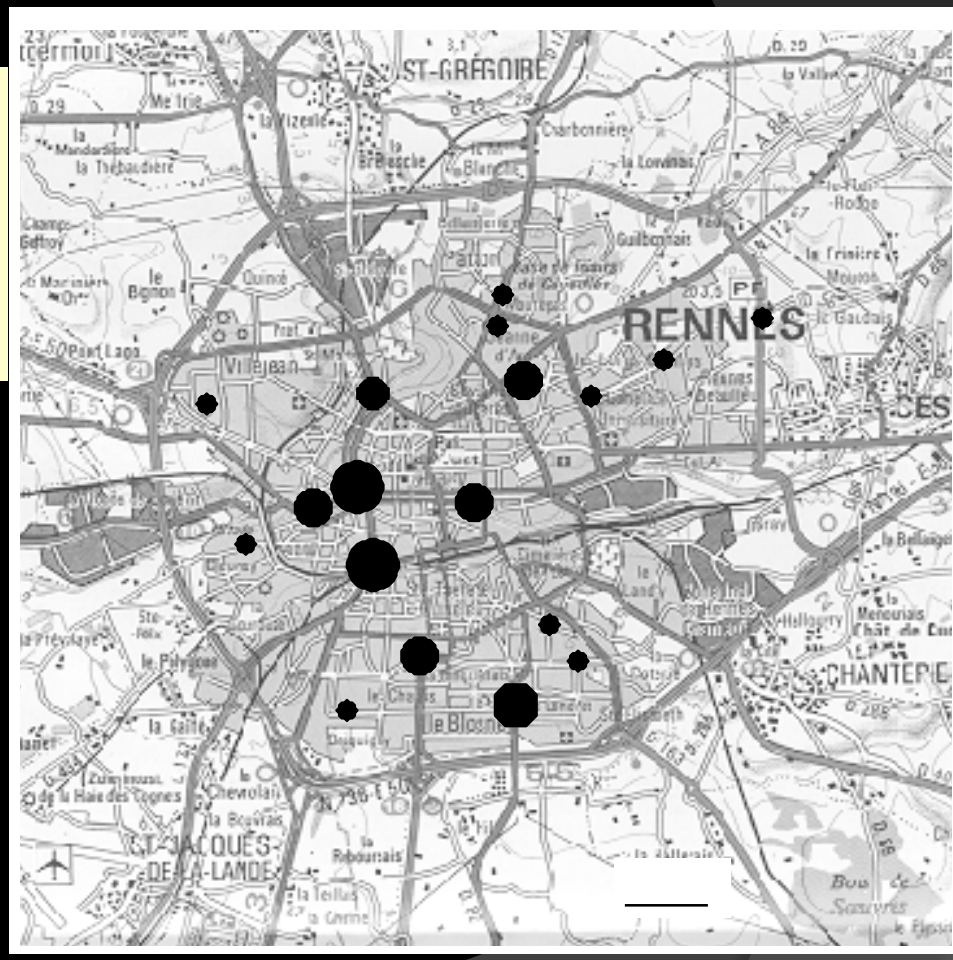
Conséquences sur la croissance des plantes

Suivi des stades du cerisier à Rennes

Cherry tree with container

Flower of cherry tree

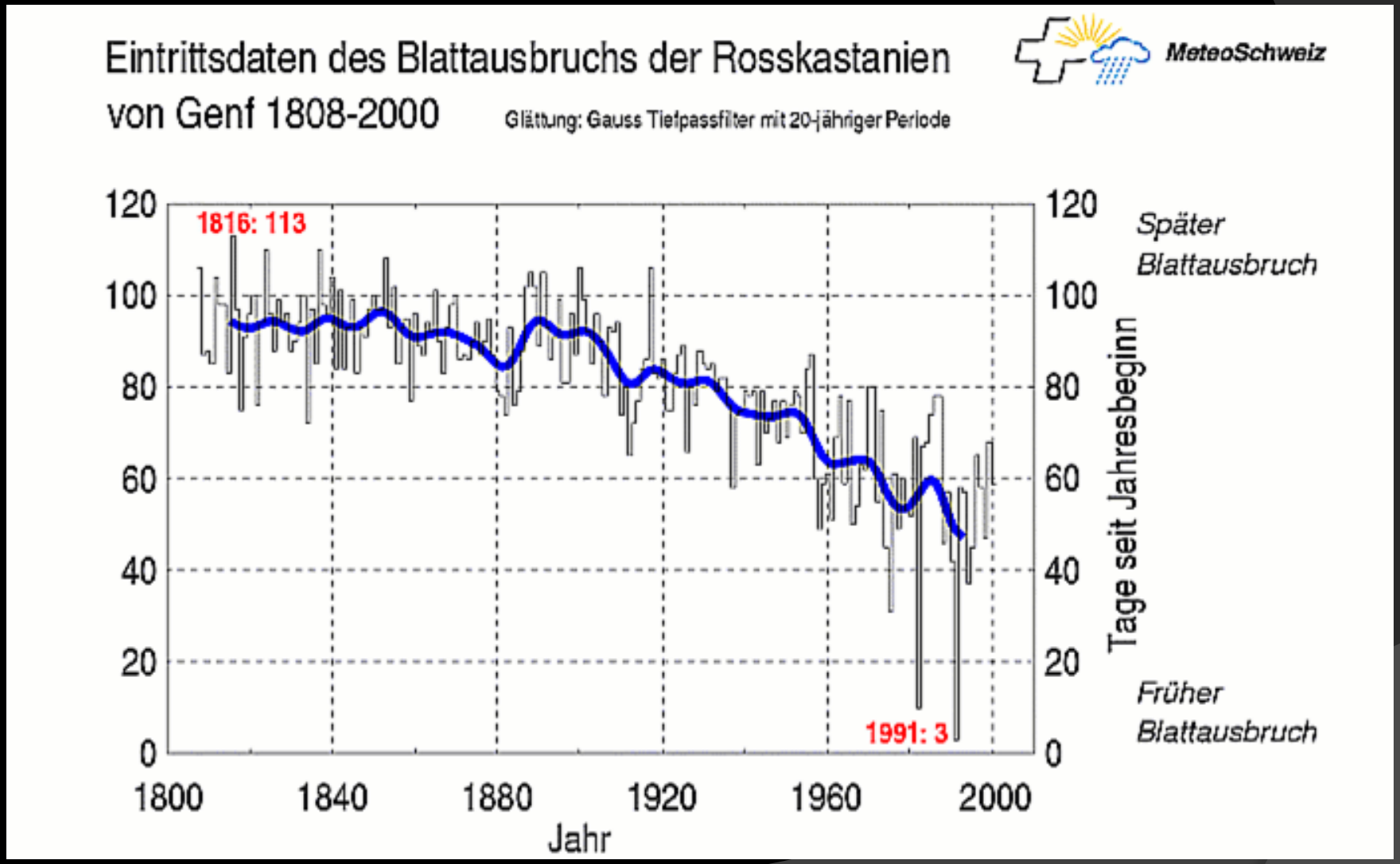
Des branches de cerisier (*Prunus cerasus*) ont été prélevées sur un même individu et au même niveau.
Les rameaux ont été installés dans des sachets d'eau (avec eau de javel diluée au 1/1000ème pour limiter la prolifération des microorganismes).
Tous les sacs ont été orientés au sud et placés contre un mur ou une haie pour se trouver dans les mêmes conditions d'ensoleillement.



Pourcentage de capitules fleuris le 8 avril 2004

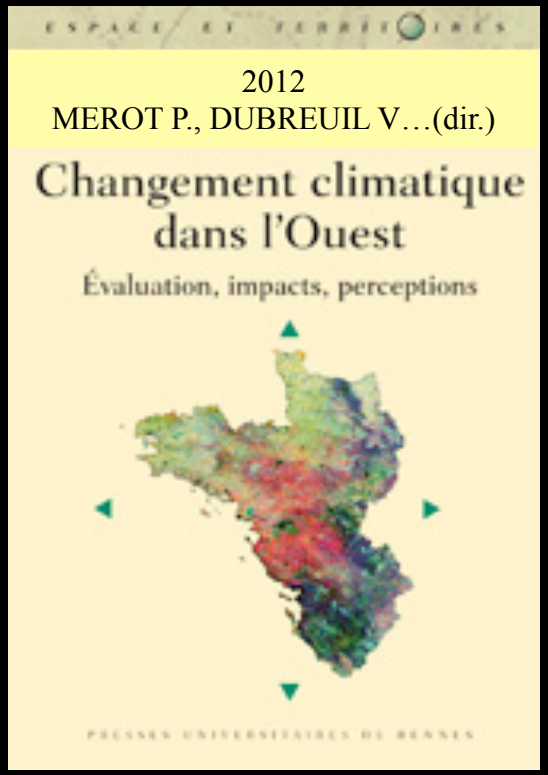
MIMET A., PELLISSIER V., QUÉNOL Q., AGUEJDAD R., DUBREUIL V., ROZÉ F., 2009 : Urbanisation induces early flowering: evidence from Platanus acerifolia and Prunus cerasus. *International Journal of Biometeorology, 53 : 287–298,*

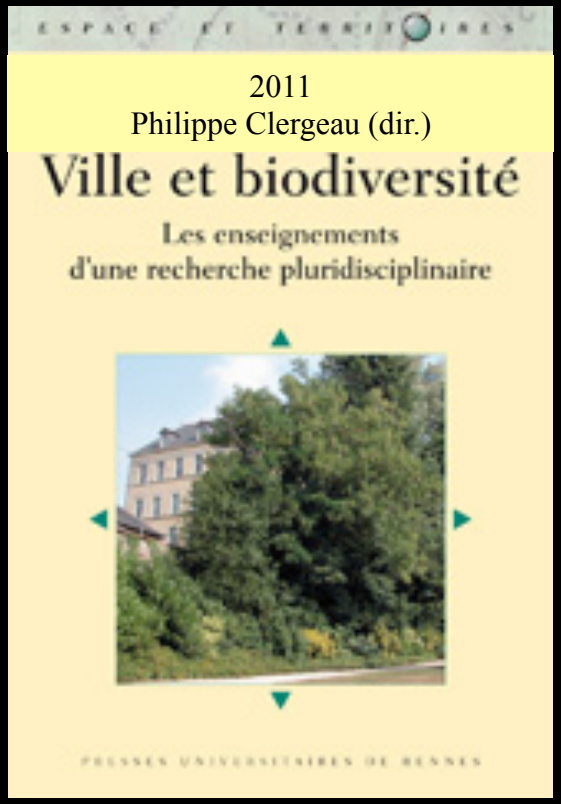
Ville et changement global



Dates de feuillaison du marronnier (Genève)

Pour aller plus loin :





+ Thèses : Xavier Foissard et Jean Nabucet

Vincent.dubreuil@univ-rennes2.fr