

L'impact du changement climatique sur le fonctionnement des centrales nucléaires

Bernard Caussade

Directeur de Recherche Honoraire au CNRS

Expert scientifique associé à l'ANCCLI

Conférence inter-CLI du Val de Loire

4 juillet 2019

Sécurité et aléas environnementaux

Risques majeurs pris en compte dès la conception de l'installation par application de la Règle Fondamentale de Sûreté de 1984 (régulièrement réactualisée)

- Aléa sismique (et mouvements de terrain)
- Aléa tempête
- Aléa inondation par submersion

Risque lié aux changements climatiques

- Aléa sécheresse

Changements du climat et ressources en eau

- L'atmosphère, l'hydrosphère, la biosphère, la cryosphère et la surface terrestre sont les composantes du système climatique, elles ont pour lien commun l'eau.
- Les ressources en eau sont donc, par voie de conséquence, un des marqueurs les plus importants du changement climatique.

Variabilité du climat

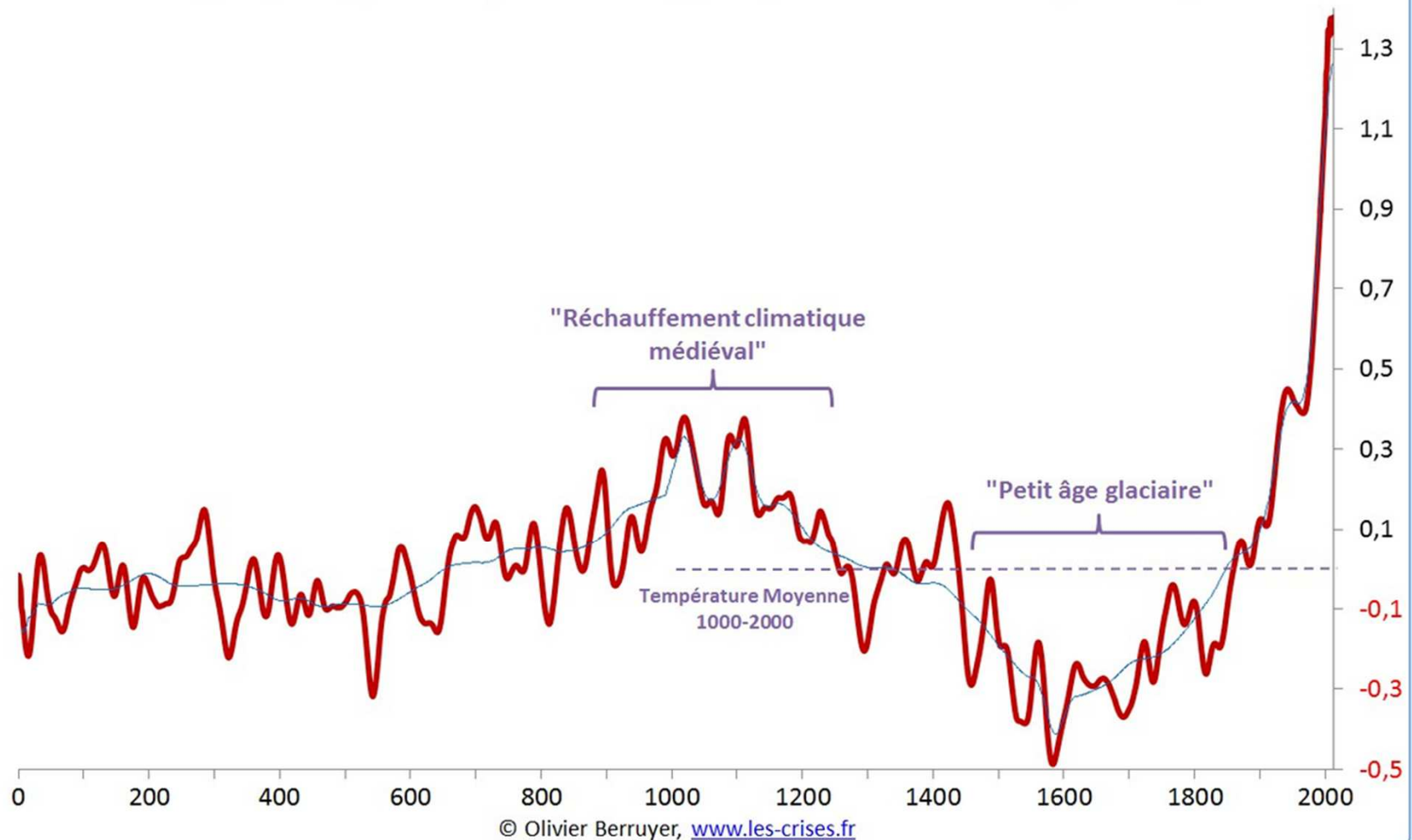
Le climat n'est pas un système figé, il n'a cessé de changer au cours de l'histoire de notre planète.

Origines de cette variabilité naturelle:

- **Le rayonnement solaire que reçoit la Terre n'est pas constant.**
- **Rejets dans l'atmosphère d'aérosols et de GES par les volcans.**
- **La variabilité interne du système climatique.**

Évolution de la température de l'Hémisphère Nord depuis 2 000 ans

(écart par rapport à la moyenne 1000-2000, en °C) (Sources : Sonechkin et al. puis NASA)



Comment expliquer les changements du climat?

- **Leur origine anthropique** est extrêmement probable.
- « *On ne sait pas expliquer le réchauffement des dernières décennies autrement que par l'effet de serre additionnel* » (Le Treut, 2004).
- Ces changements seraient dus au cumul des **émissions** des GES et notamment du **CO₂**.

Comment prévoir l'avenir?

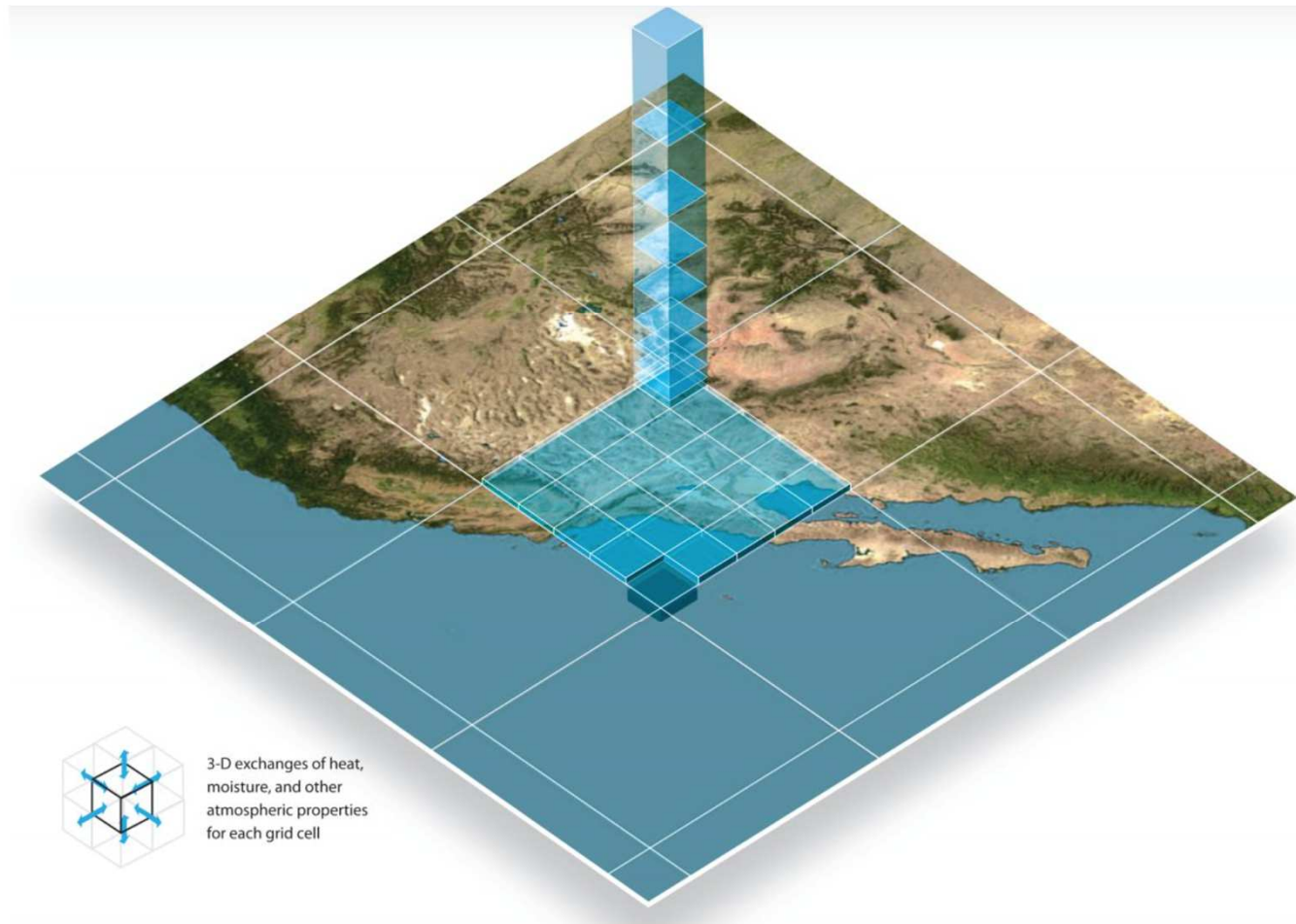
Seuls outils disponibles :

Les modèles climatiques

Ce sont des représentations mathématiques des interactions entre les différents milieux que sont l'atmosphère, les océans, la surface terrestre et la glace. Ces milieux échangeant en continu de la matière, de l'énergie ou de la quantité de mouvement au travers de processus qui peuvent être physiques, chimiques ou biologiques.

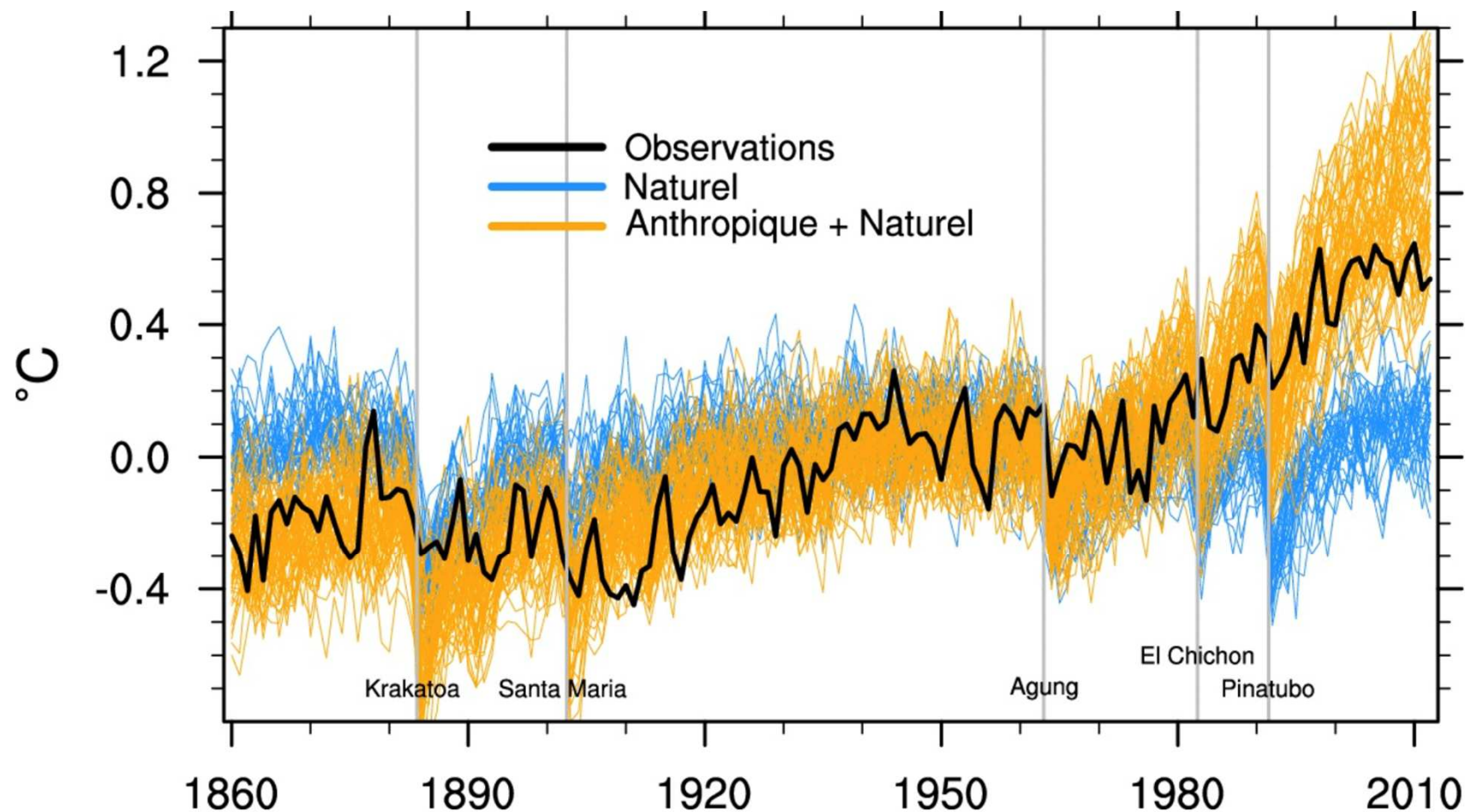
La modélisation du climat

<www.jancovici.com>



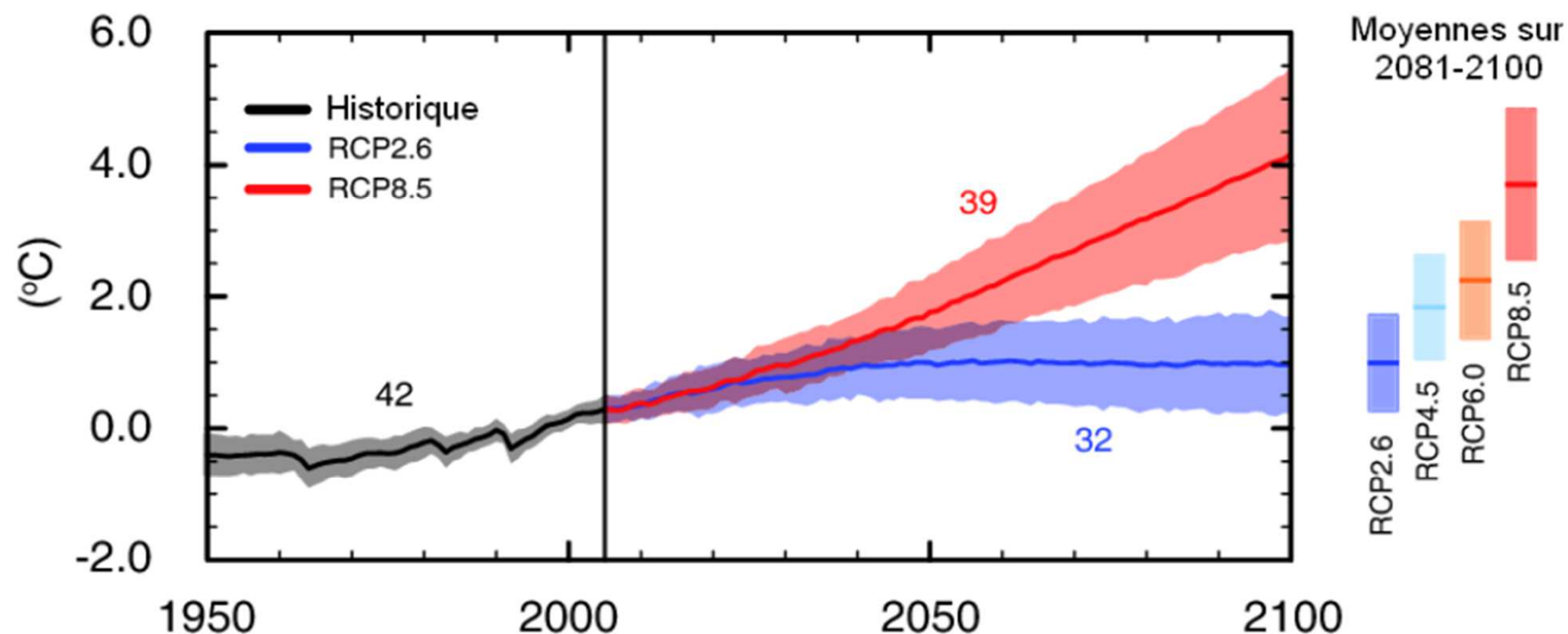
Comparaison entre simulations et mesure de la température moyenne de l'air à la surface du globe (écart/moyenne 1961-1990)

www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/comprendre-le-climat



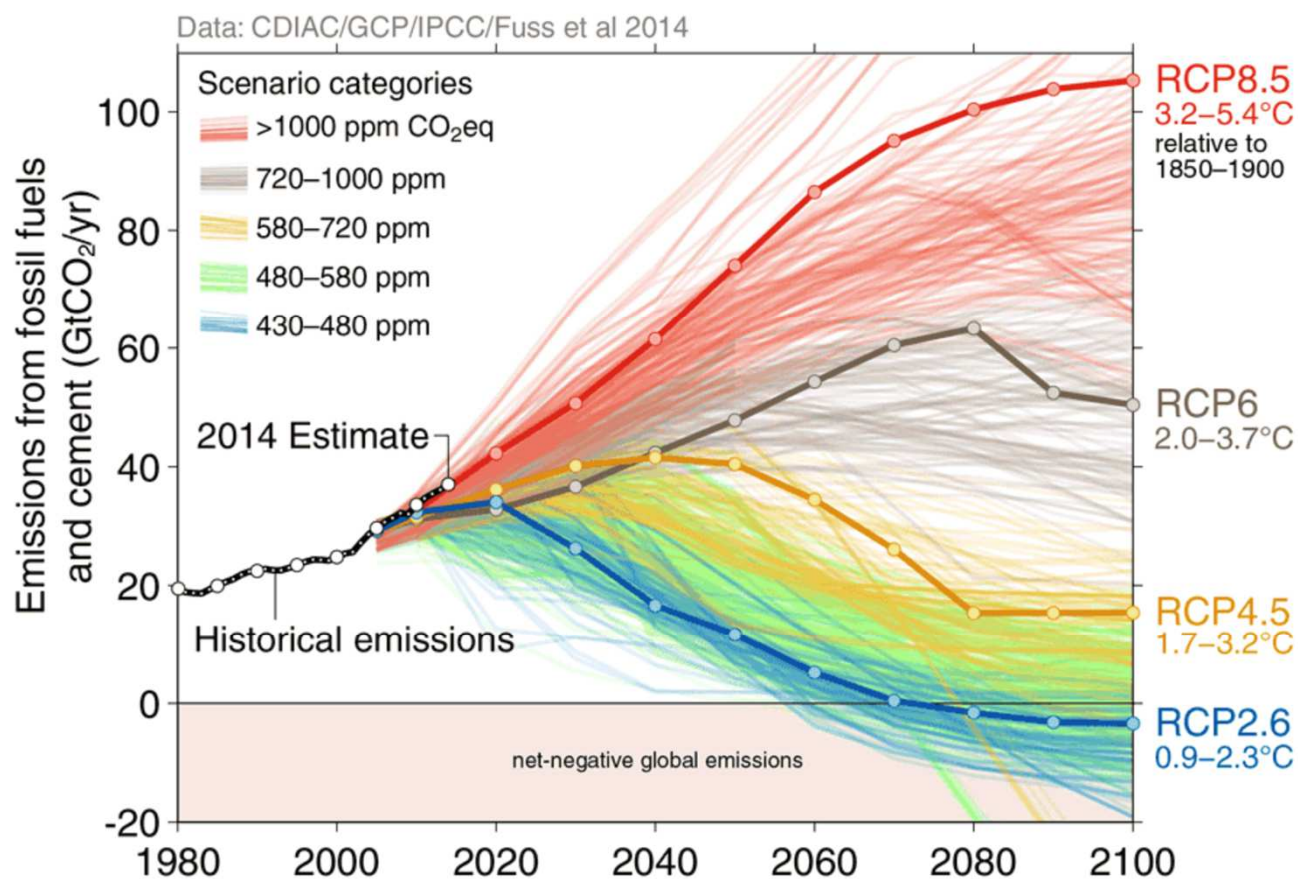
Evolution de l'anomalie de température moyenne du globe, en surface, simulée par l'ensemble des modèles du climat pour différents scénarios d'émission, par rapport à la période 1986-2005 (5^{ème} rapport du GIEC, 2013)

www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/comprendre-le-climat



Réchauffement mondial en surface

Moyenne des différents modèles d'émission (4^{ème} rapport du GIEC, 2007)



Les émissions de CO₂ et les scénarios du Giec. En trait plein les scénarios RCP : en bleu, 2.6 ; en jaune 4.5 ; en gris 6 ; en rouge 8.5. En ordonnée les émissions de CO₂ en GtC/an
© Betting on negative emissions ; [Nature Climate Change 4, 850–853 \(2014\)](#) doi:10.1038/nclimate2392 - Licence : Tous droits réservés

Que disent les modèles?

Pour un doublement de la concentration de l'atmosphère en CO₂ prévu pour 2050 le réchauffement serait d'environ 2°C à 4,5°C

« *Des valeurs entre le significatif et le catastrophique* » (Marvel, 2018)

Les conséquences du changement climatique sur les ressources en eau

- Inondations
- Sécheresses
- Fonte des glaces
- élévation du niveau des mers
- Transformation massive des grands cycles bio-géochimiques dont le cycle de l'eau

Ce sont les ingrédients d'une des plus graves crises que l'Humanité aura à affronter dans un proche avenir.

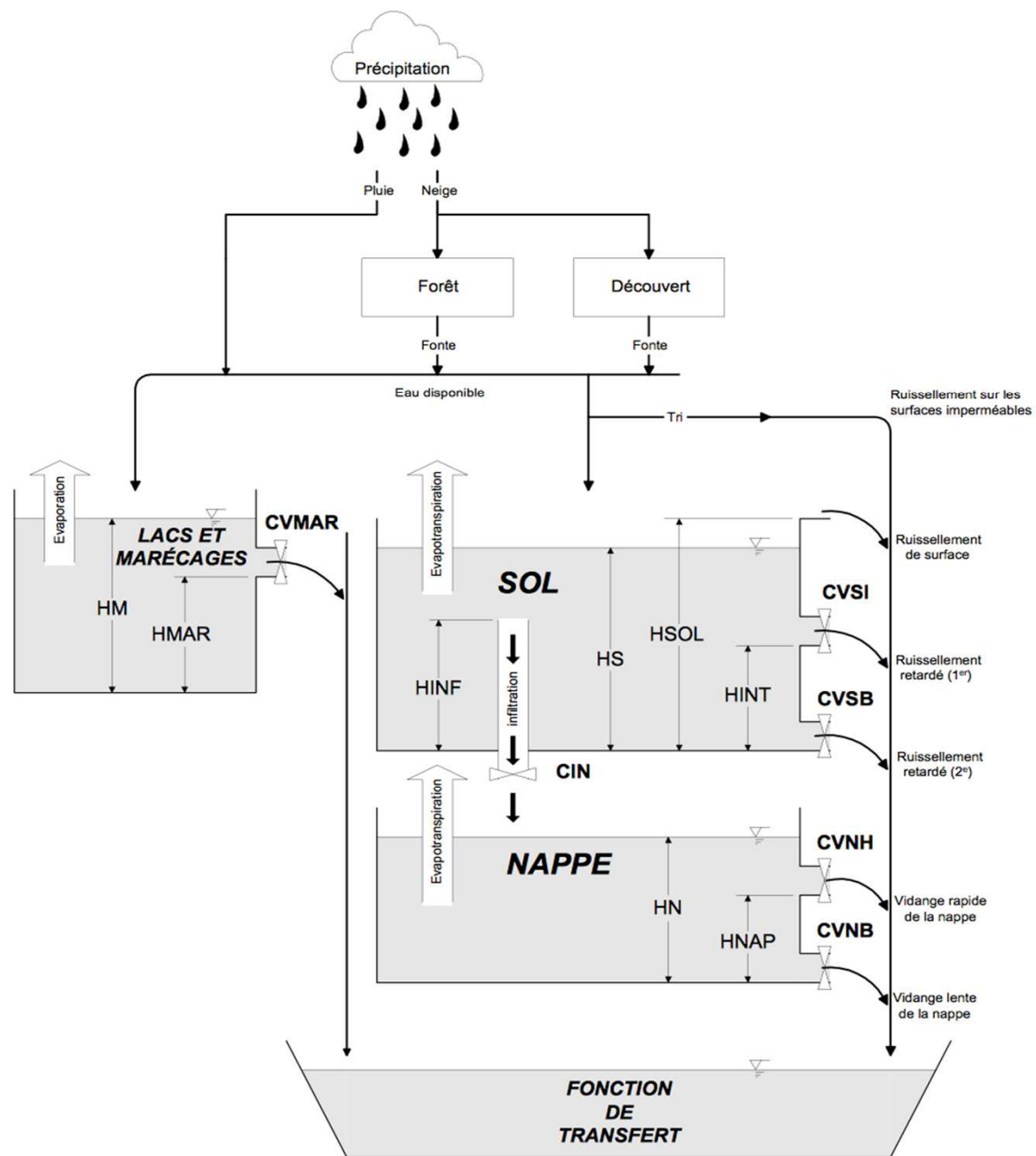
Comment modéliser le cycle de l'eau?

On s'appuie sur :

- des **modèles conceptuels** spatialisés qui simulent, à l'échelle du bassin-versant, la transformation des pluies en débits
- des modèles physiques

Un des modèles très utilisé : « **CEQUEAU** »

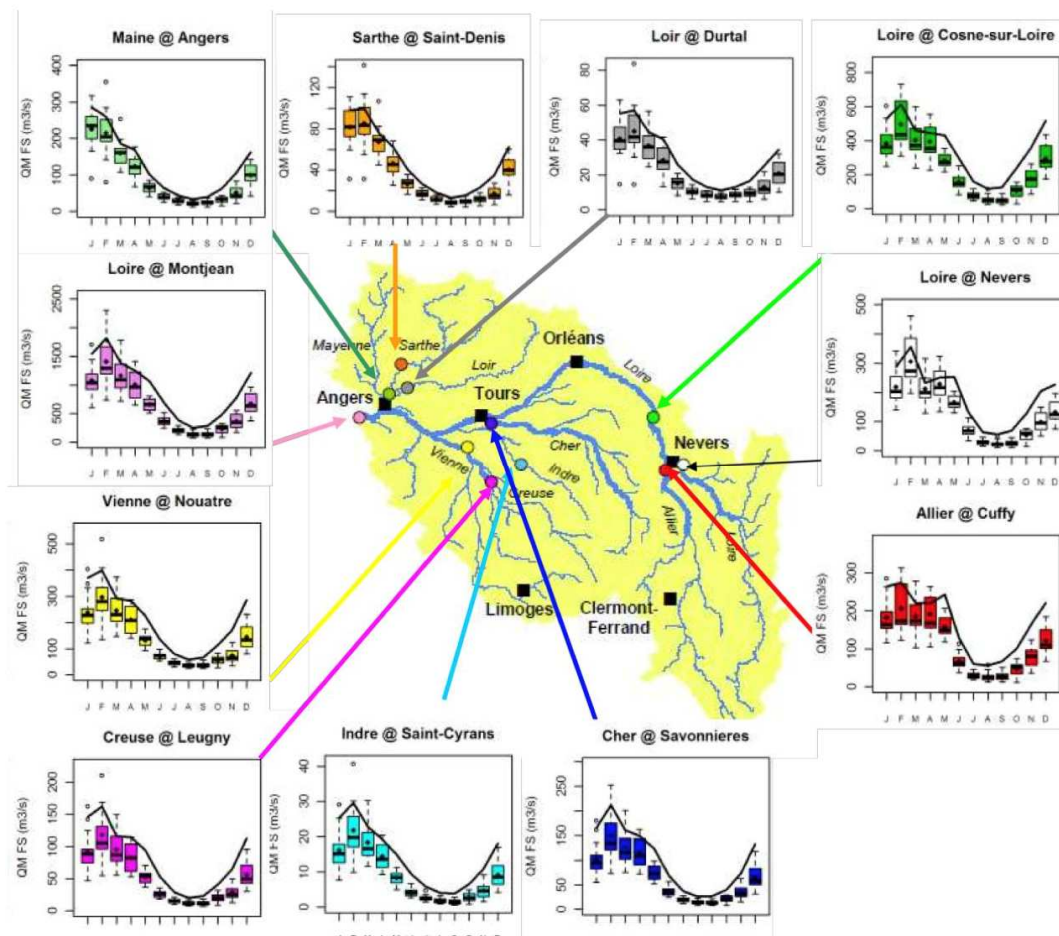
(INRS-Eau et Environnement, Québec)



Exemple de la Loire

Débits mensuels en fin de siècle - 14 projections du GIEC

(La température de l'eau augmenterait de 1,6°C à l'horizon 2071-2100)



Projections sur les fleuves français

(Pour un doublement du CO₂)

La Loire et ses affluents : diminution des débits moyens, -20 à -50% (Très forte baisse des débits d'étiage).

Le bassin Rhône-Méditerranée : diminution des débits moyens, -25 à -50% sur toute la longueur du fleuve.

Le bassin de la Garonne : les bassins pyrénéens montrent une diminution des débits moyens de l'ordre de 50%.

Le bassin de la Seine : réduction des débits moyens en automne, -30% en 2050 jusqu'à -40% en 2100.

Le Rhin : Pas de changements notables jusqu'en 2050; sur la période 2071-2100 baisse de 10 à 25% des débits moyens.

Que dire de ces modélisations?

- Les modèles climatiques ont du mal à prendre en compte **les nuages** pourtant on sait que les changements relatifs aux nuages **modifient le climat planétaire**.
- **Les modèles conceptuels de la relation pluie-débit** sont adaptés à des conditions hydrologiques « moyennes » pourtant ils sont utilisés ici pour des **conditions qui peuvent être extrêmes**.

Impacts possibles sur certains usages de l'eau disponible

- La dépendance du nucléaire à la ressource en eau est une évidence.
- Si les projections se confirment il pourrait y avoir:
 - **Au plan quantitatif**, des conflits d'usage, notamment avec l'agriculture;
 - **Au plan qualitatif**, des risques de pollution thermique à partir des rejets, avec pour corollaire la dégradation des écosystèmes.

Conclusion

- Ces **projections climatiques et hydrologiques** interpelleront par leur ampleur et elles auront des **conséquences économiques et politiques**.
- L'humanité doit se préparer à s'adapter à ces conditions et notamment à la **pénurie d'eau**.
- **L'industrie nucléaire** doit aussi **s'adapter** technologiquement et en s'appuyant sur une **gestion prévisionnelle climatique et hydrologique**.

Références

Diapo 9 - Simulation de l'anomalie de température moyenne du globe : projections pour le XXIème siècle. Source : Météo-France et vous : « Les travaux du GIEC : constats et projections ».

Diapo 10 - Evolution de l'anomalie de température moyenne à la surface de la Terre au cours du XXème siècle. Source : Météo-France et vous : « Les travaux du GIEC : constats et projections ».

Diapo 12 – Marvel, K. (2018), « Les nuages amplificateurs de réchauffement ». Pour la Science 484, p. 50 – 56.

Diapo 15 - Morin et Paquet (2007), « Modèle hydrologique CEQUEAU ». Rapport de recherche (R926), INRS – Eau, Terre et Environnement, Québec.

Diapo 16 – Moatar, F., Ducharne, A., Thiéry, D., Bustillo, V., Sauquet, E., et al. (2010), « La Loire à l'épreuve du changement climatique ». Geosciences, 12, p. 78-87. <INSU 00549254>.

Diapo 16 – van Vliet, W.T.H., (2013). « Global river discharge and water temperature under climate change ». Global Environmental Change 23, p. 450-464.