

# Climat et statistiques en débat

Liliane Bel

AgroParisTech

Le climat change-t-il vraiment ? Quels outils statistiques permettent de s'en convaincre, et d'en évaluer les conséquences ? Ce sont les questions auxquelles Julien Cattiaux<sup>2</sup> et Aurélien Ribes<sup>3</sup> du laboratoire CNRM – GAME<sup>1</sup> de Météo France ont tenté de répondre en mai dernier lors du Café de la statistique organisé à Toulouse pendant les Journées annuelles de la Société française de statistique, dans le cadre de « 2013 Mathématiques pour la planète Terre ».

Dans leur exposé initial, les deux chercheurs ont expliqué les méthodes d'étude du climat, et en quoi elles font appel à la statistique, avant d'en venir aux constats et aux prévisions.

## Méthodes

Pour comprendre et quantifier le changement climatique il faut d'abord bien comprendre le système climatique. Cela passe par la description physique de la dynamique de l'atmosphère à partir des équations de la mécanique des fluides (bilan de masse, d'énergie, de quantité de mouvement) et de la thermodynamique, ainsi que des conditions aux limites. Les équations aux dérivées partielles (Navier-Stokes entre autres) qui interviennent sont non linéaires et ne peuvent être résolues explicitement. Si la prévision déterministe du temps est inaccessible au-delà de quelques jours, sa distribution de probabilité est déterminée par de grands équilibres physiques. Ces équilibres découlent du bilan d'énergie complexe du système climatique, comprenant l'atmosphère, les océans, la cryosphère<sup>4</sup>, les surfaces continentales, la biosphère et leurs interactions.

Le climat est naturellement variable, mais des influences externes appelées forçages viennent se superposer à cette variabilité. Les forçages naturels sont dus à l'activité solaire, aux éruptions volcaniques et aux variations d'orbite (astronomique). Les forçages attribuables à l'activité humaine (« anthropiques ») sont dus entre autres aux gaz à effet de serre, aux aérosols, à l'utilisation des sols.

Pour déterminer la part de responsabilité de chaque facteur, la statistique intervient à plusieurs niveaux. L'homogénéisation des données permet de corriger les séries météorologiques des ruptures occasionnées par des changements d'instrumentation, ou de méthodologie de mesure.

La détection et l'attribution du changement résultent de l'évaluation du rôle de chaque forçage externe. La comparaison avec les climats anciens est réalisée grâce à leur reconstruction à partir de proxys<sup>5</sup>. Enfin la variabilité interne est décrite et analysée afin de la séparer de la variabilité due aux forçages externes.

## Un réchauffement atypique

Le GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat, ou IPCC en anglais)

a pour objectif principal d'évaluer l'information scientifique et socio-économique sur le changement climatique, ses impacts et les différentes options pour l'atténuer ou s'y adapter. Ses conclusions indiquent que le réchauffement du système climatique est sans équivoque, car il ressort désormais des observations de l'augmentation des températures moyennes mondiales de l'atmosphère et de l'océan, de la fonte généralisée des neiges et des glaces et de l'élévation du niveau moyen mondial de la mer, entre autres.

L'essentiel de l'accroissement observé sur la température moyenne globale depuis le milieu du XX<sup>ème</sup> siècle est très probablement dû à l'augmentation observée des concentrations des gaz à effet de serre anthropiques.

Les informations paléo climatiques confirment l'interprétation que le réchauffement du dernier demi-siècle est atypique sur au moins les 1300 dernières années. La dernière fois que les régions polaires ont été significativement plus chaudes qu'actuellement pendant une longue durée (il y a environ 125 000 ans), la réduction du volume des glaces polaires a conduit à une élévation du niveau des mers de 4 à 6 mètres.

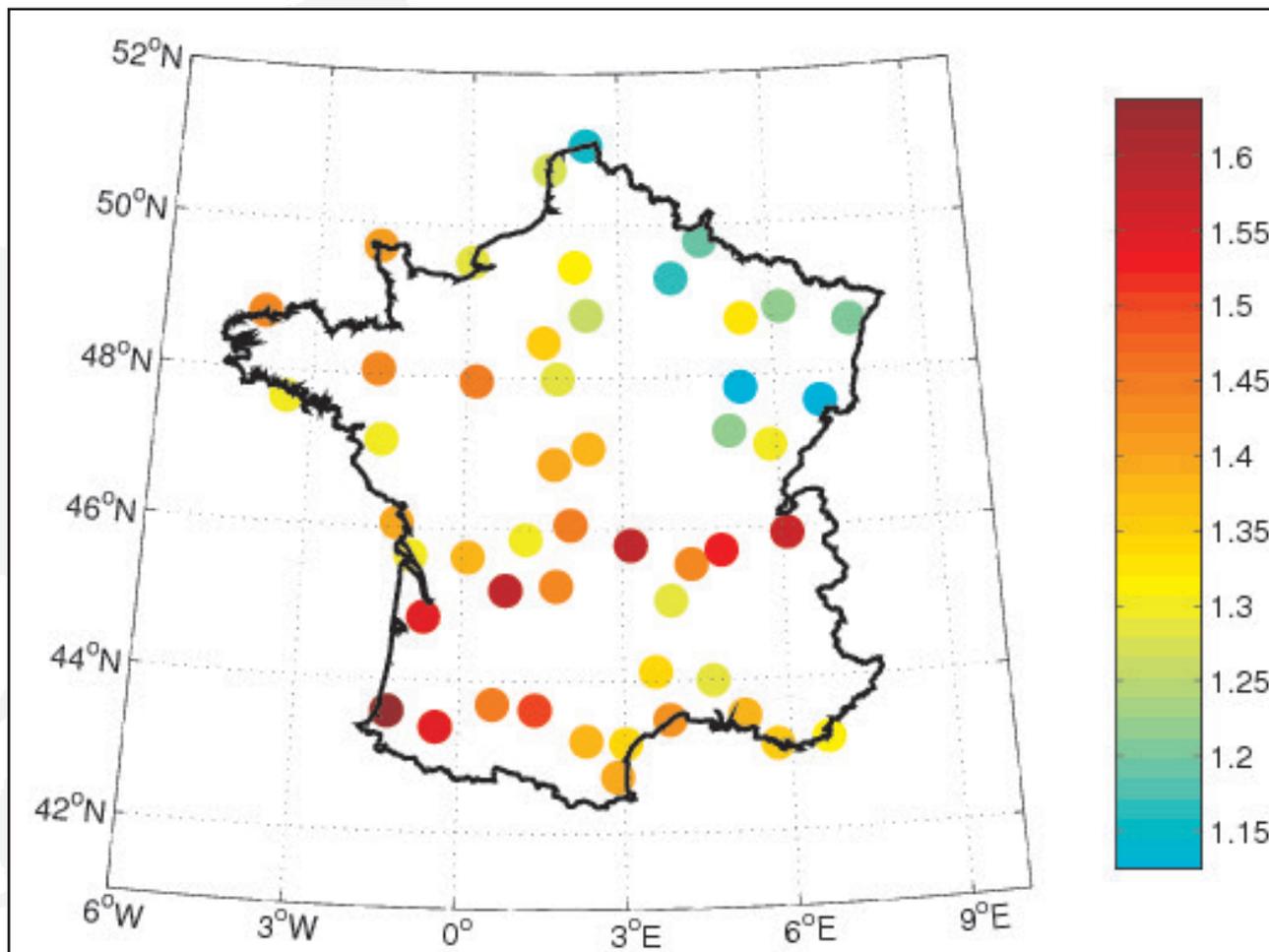
Par ailleurs de nombreux autres composants du système : glaciers de montagne, enneigement en montagne, contenu de chaleur et salinité de l'océan, cours d'eau (débits, régimes, extrêmes) montrent également des évolutions significatives. Par contre certaines caractéristiques du climat comme les tempêtes ou les épisodes de précipitations intenses en France ne montrent pas d'évolution significative pour le moment.

## **Dont la poursuite est prévisible**

Suivant le scénario envisagé pour le futur, qui dépend d'hypothèses sur le type de croissance et les énergies utilisées, les émissions de gaz à effet de serre mènent à des projections sur l'augmentation de la température moyenne globale allant de 1,8° à 4°. La répartition spatiale est inégale, la zone subissant le plus fort réchauffement étant l'hémisphère nord, et plus particulièrement l'Arctique. Des effets sur la biodiversité sont attendus avec la disparition de nombreuses espèces animales et végétales. Enfin, de nombreux impacts sur nos sociétés sont envisagés, par exemple la baisse possible des rendements agricoles.

## **Malgré ce mois de mai à Toulouse ?**

Les participants aux Journées de statistique de Toulouse se rappelleront longtemps les conditions météorologiques quasi extrêmes qui ont régné pendant la semaine du 27 au 31 mai : un froid vif et des trombes d'eau, qui ont d'ailleurs favorisé une affluence record aux exposés. Interrogés là-dessus, les intervenants ont présenté des graphiques représentant la température moyenne et le cumul des précipitations rapportés à une période de référence 1981-2010. Ces graphiques ont montré que ce mois de mai, et plus globalement le printemps 2013 à Toulouse et en France ont présenté des niveaux peu habituels. Alors qu'on observe des moyennes de températures mensuelles et annuelles généralement supérieures à celle de la période de référence (1981-2010) depuis 1986, le printemps 2013 est une des rares périodes à avoir une température nettement inférieure, température toutefois assez habituelle dans les années 1970, par exemple. Ce phénomène est purement régional, car si on regarde l'écart de température entre le printemps 2013 et la même période de référence à l'échelle du globe, on s'aperçoit qu'il est majoritairement positif. L'analyse de la température globale à l'échelle de temps annuelle et décennale montre que la tendance continue à être au réchauffement avec une variabilité marquée.



**Graphique :** augmentation de température moyenne estimée entre 1900 et 2006 en °C  
 Source : [1].

## Un débat animé

Le Café a donné lieu à de nombreux échanges avec la salle. Parmi les questions posées se trouvaient tout d'abord des questions « d'actualité » météorologique (ex : sur le moi de mai particulièrement frais), ou climatique (ex : sur la réalité de la stabilisation apparente du réchauffement moyen en surface au cours des dernières années). D'autres questions portaient sur les changements de long terme, les constantes de temps en jeu, le temps de « retour à l'équilibre » du système climatique (retour au climat de la période préindustrielle), ou les impacts sur les sociétés humaines, notamment le caractère bénéfique ou préjudiciable du réchauffement attendu. Ce changement est-il inéluctable ? Existe-t-il une ingénierie pour remédier au changement climatique? Quelle est l'inertie du système : si on arrêta d'émettre maintenant, combien de temps faudrait-il pour perdre le 1,5 ° gagné?

Bien que le sujet soit très empreint de sciences physiques, plusieurs questions ont abordé les interactions avec les statistiques, en particulier sur la « bonne » définition des normales climatiques, dans un climat qui n'est plus stationnaire (et sur l'opportunité de calculer des normales non stationnaires). Enfin, plusieurs questions plus polémiques ont porté sur l'évaluation du rôle de l'homme dans ces changements, et la possibilité d'une explication naturelle du réchauffement récent. La discussion s'est alors portée sur les grandes variations climatiques du dernier million d'années (alternance de périodes glaciaires et interglaciaires), et sur les différences avec les changements en cours.

## Références

1. GAME (Groupe d'étude de l'atmosphère Météorologique), laboratoire de recherche associé au CNRS (URA 1357) et faisant partie du CNRM (Centre National de Recherches Météorologiques) de Météo-France.
  2. Page Web : <http://www.cnrm-game.fr/spip.php?article629>
  3. Page Web : <http://www.cnrm.meteo.fr/gmgec/spip.php?article105>
  4. Cryosphère : terme désignant les portions de la surface de la Terre où l'eau est présente à l'état solide (banquises, glaciers, sols gelés, etc.)
  5. Dans l'étude des climats du passé, les « proxys climatiques » sont des caractéristiques du passé qui ont été conservées et qui sont utilisées pour reconstruire des variables climatiques anciennes. Par exemple, la largeur des cernes du tronc des arbres peut servir pour la reconstitution des températures anciennes.
- [1] Ribes A, J-M Azaïs, S Planton (2010) A method for regional climate change detection using smooth temporal patterns, *Climate Dynamics*, 35 (2-3), pages 391-406.
- [2] Voir aussi les articles sur le sujet sur le blog « un jour une brève » de « Mathématiques pour la planète Terre - 2013 » :
- <http://mpt2013.fr/pourquoi-corriger-les-series-climatiques/>
  - <http://mpt2013.fr/le-climat-de-chez-vous-a-t-il-deja-change/>
  - <http://mpt2013.fr/pourquoi-grelotte-t-on-alors-que-la-planete-se-rechauffe/>
  - <http://mpt2013.fr/reconstructions-du-climat-du-dernier-millenaire/>
  - <http://mpt2013.fr/les-cernes-dhier/>
  - <http://mpt2013.fr/echauffement-climatique-ou-fin-dune-periode-glaciaire/>
  - <http://mpt2013.fr/quelle-esperance-de-vie-pour-le-plus-grand-glacier-des-alpes/>
  - <http://mpt2013.fr/dater-la-fonte-des-glaciers/>