

# MOOC CLIMAT

Causes et enjeux du changement climatique



## SEMAINE 1 : LE CLIMAT

*Ce document contient les transcriptions textuelles des vidéos proposées dans la partie « Détection et attribution des changements climatiques » de la semaine 1 du MOOC « Causes et enjeux du changement climatique ». Ce n'est donc pas un cours écrit au sens propre du terme ; le choix des mots, l'articulation des idées et l'absence de chapitrage sont propres aux interventions orales des auteurs.*

### *Le rôle des facteurs naturels*

**Serge PLANTON**

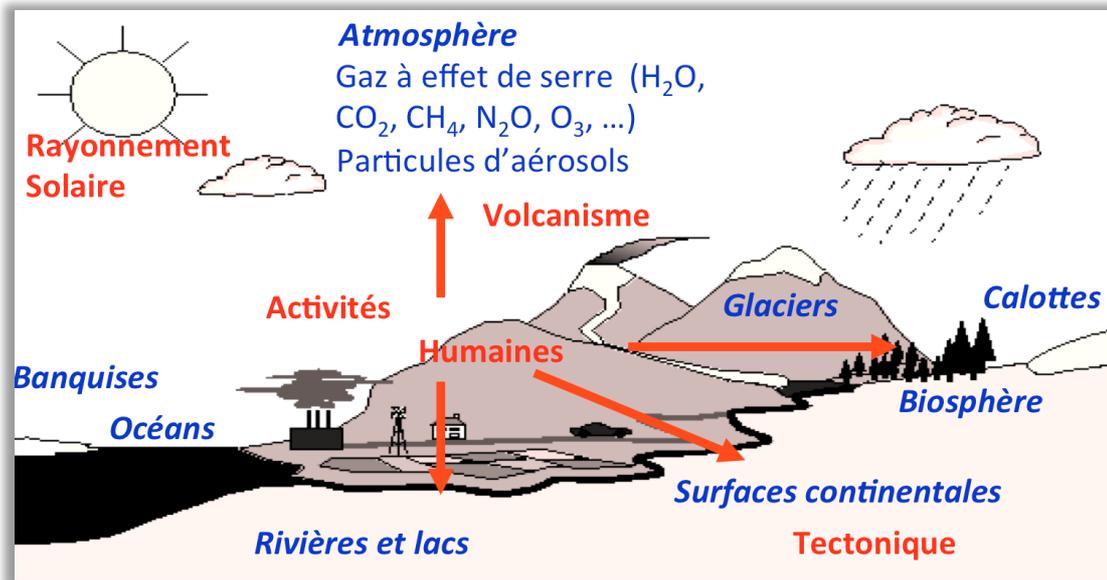
*Responsable du Groupe de recherches climatiques – Météo France*

Je vais vous parler de détection et d'attribution des changements climatiques en insistant plus particulièrement, dans cette partie, sur les facteurs naturels d'évolution des climats.

Mais d'abord qu'est-ce qu'on appelle le système climatique ? Donc le système climatique, il est traditionnellement composé, dit composé de :

- l'atmosphère ;
  - des océans et des rivières et des lacs que l'on appelle aussi l'hydrosphère ;
  - composé des surfaces continentales, la lithosphère ;
  - de la biosphère, toute la partie vivante qui est à la surface de la Terre, que ce soit d'ailleurs dans les océans ou sur les continents ;
  - et enfin, la cinquième composante qui est la cryosphère, toute la partie gelée de la croûte terrestre.
- Donc ces composantes ont leur dynamique propre et puis elles interagissent, elles échangent de l'énergie, elles échangent aussi de la vapeur d'eau, elles échangent du carbone et donc du fait de ces échanges, du fait de cette dynamique propre, le climat va

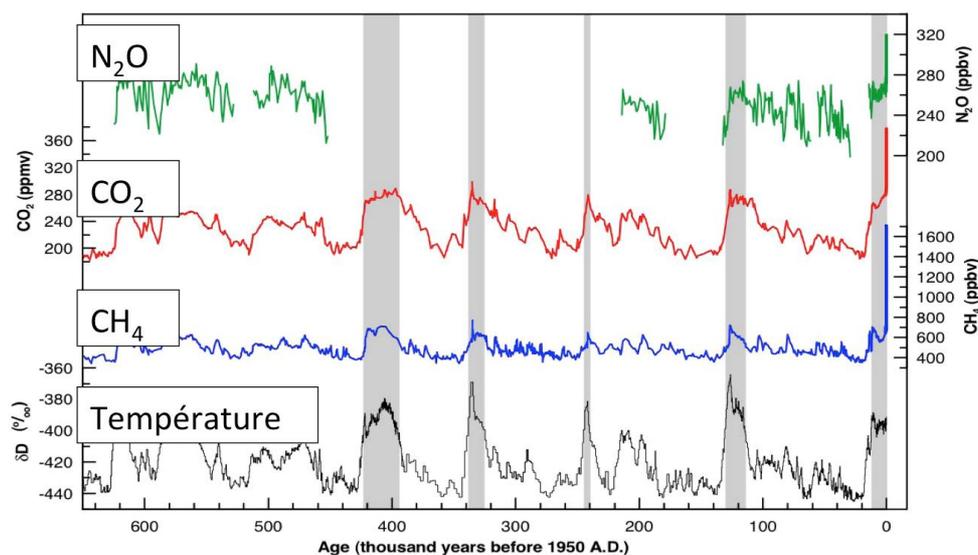
varier avec ce qu'on appellera la variabilité interne du climat, parce qu'elle est due à ces interactions liées à la dynamique interne de ce système climatique.



- Bien entendu, le climat aussi évolue en fonction de facteurs qui sont externes :
  - à commencer par la variabilité solaire ;
  - le rayonnement solaire ;
  - le volcanisme, la tectonique (la tectonique, c'est une échelle de temps beaucoup plus longue, on ne s'y intéressera pas ici) ;
  - et puis un autre facteur qui est, lui, non naturel, ce sont les activités humaines qui influencent le climat de différentes manières.
- ⇒ D'abord en modifiant la composition chimique de l'atmosphère en gaz à effet de serre et en particules d'aérosols ce qui va influencer le climat à l'échelle planétaire.
- ⇒ Mais aussi du fait de la modification de la couverture végétale, à cause des échanges de carbone, cela va aussi modifier le climat à l'échelle planétaire mais cela va aussi modifier localement le climat par les changements de température et d'humidité qui sont liés par exemple à la déforestation.
- ⇒ Et puis les activités humaines, elles agissent aussi sur les surfaces continentales en modifiant par exemple le contenu du sol par l'irrigation ou encore l'aménagement des rivières et des lacs qui va avoir une influence mais là, cette fois, locale, régionale sur le climat.

Donc, on va maintenant s'intéresser à l'évolution du climat depuis 650 000 ans pour essayer d'identifier quels sont des facteurs clés, naturels, d'évolution des climats sur ces périodes de temps-là.

- Vous avez sur cette figure représenté à la fois en noir un enregistrement de ce qui ressemble à la température (c'est une reconstruction qui est faite à partir de carottages glaciaires), donc avec des périodes plus chaudes qui alternent avec des périodes plus froides (les périodes plus chaudes sont identifiées en grisé sur la figure) et ces périodes sont associées à des périodes dites interglaciaires puisque les périodes froides, au contraire glaciaires, correspondent à des températures qui sont typiquement de l'ordre de 3 à 8°C plus froides que pendant les périodes interglaciaires.
  - ⇒ La dernière période, le dernier maximum glaciaire c'était il y a 21 000 ans, c'était un climat extrêmement différent du climat actuel puisque, par exemple la calotte polaire s'étendait jusque sur l'Ecosse ou que le niveau des océans était 130 m plus bas que le niveau actuel.
- On voit sur ces enregistrements qui sont tirés de carottages glaciaires, que les concentrations de gaz à effet de serre, en particulier le protoxyde d'azote (en vert), le dioxyde de carbone (en rouge) et le méthane (en bleu) ont évolué dans le temps et des périodes chaudes ont été associées à des plus fortes concentrations de ces gaz.

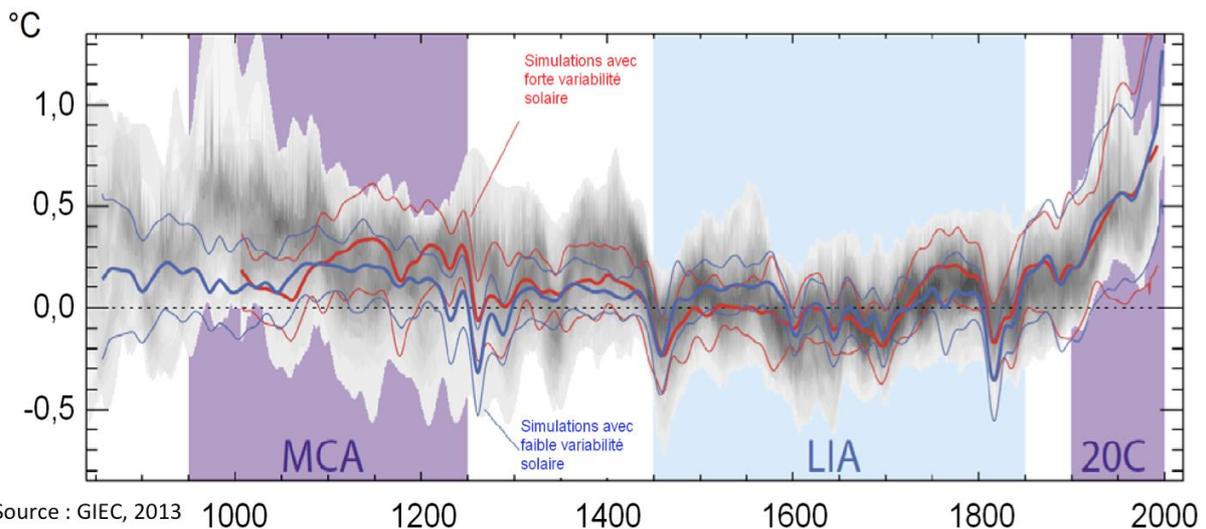


Source : GIEC, 2007

- Alors, on sait par ailleurs qu'en réalité c'est le climat qui a d'abord commencé à varier et ensuite les concentrations de ces gaz ont évolué, mais il y a aussi un effet de rétroaction positive du fait de l'augmentation de la concentration des gaz, il y a eu un phénomène aussi d'amplification du réchauffement.
  - ⇒ On parle dans ce cas-là de rétroaction positive.
- Alors, quelle est la source initiale de l'évolution de la température, de l'évolution du climat ? On la connaît aussi. Elle est par exemple liée pour les cycles d'alternance période glaciaire et interglaciaire à un cycle de variation de la forme de l'orbite terrestre qui est

autour de 100 000 ans pour une période principale et jusqu'à 400 000 ans pour une période secondaires.

- Il existe aussi d'autres sources de variabilité des climats à des échelles de temps de 41 000 ans, qui sont liées à la modification de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre par rapport au plan de rotation de la Terre autour du Soleil ou encore ce qu'on appelle la précession, le fait que l'axe de rotation de la Terre décrive un cône de révolution un petit peu comme l'axe d'une toupie.
  - ⇒ Cela va introduire la variabilité climatique à des échelles de temps autour de 20 000 ans.
  - ⇒ Mais donc on a des échelles de temps qui sont relativement longues.
- Maintenant, si on s'intéresse à la période plus proche de notre période, du XXe siècle, mais en remontant quand même encore sur un millier d'années en arrière. Donc ici on a sur cette figure reproduit une reconstruction de la température moyenne de l'hémisphère Nord.



- ⇒ En fait il s'agit de l'écart à la moyenne de la période 1500 - 1850, ce qui veut dire que les valeurs positives indiquent des valeurs qui sont plus fortes que cette moyenne.
- Ce sont des résultats de reconstruction non pas à partir de mesures directes de la température à partir de thermomètres mais ce sont des reconstructions à partir de ce qu'on appelle des indicateurs paléoclimatiques, comme par exemple des épaisseurs de cernes d'arbres ou des densités de cernes d'arbres.
- Ce qui est représenté en grisé, ce sont différentes reconstructions superposées.
  - ⇒ Plus la zone est foncée et plus cela veut dire que les différentes reconstructions finalement convergent pour donner à peu près des valeurs qui sont semblables.

- Donc on peut constater qu'autour de l'an 1000, on a ce qu'on a appelé l'anomalie climatique médiévale avec des températures qui sont plutôt plus chaudes que la moyenne, au contraire ensuite suivie par une période plus froide (en gros entre 1450 et 1850), que l'on a appelé le petit âge glaciaire. Et le XXe siècle, avec une très forte augmentation de la température.
- Alors, si on s'intéresse à ces variations à l'échelle séculaire, on a une cause naturelle possible qui est la variabilité solaire.
  - ⇒ En effet, si on prend cette courbe de l'évolution de l'intensité de la variabilité solaire, à partir de 1600 - qui va être grossie ici -, on voit qu'il y a une période autour de 1650 - 1715, 1645 - 1715 que l'on a appelé le minimum de Maunder au cours de laquelle on a mesuré très peu de taches solaires et cela c'était le signe d'une très faible activité solaire.
  - ⇒ Cette très faible activité solaire va expliquer les températures qui sont plus faibles, comme on peut le constater sur l'enregistrement de température.
- Par ailleurs, on voit qu'à la fin de la période par contre on a une relative stabilité de la variabilité solaire au cours des 50 dernières années à laquelle se superpose un cycle de 11 ans et au contraire, la température a quand même augmenté très rapidement au cours de cette période.
  - ⇒ Donc évidemment, il va falloir trouver une autre explication de l'évolution de la température sur cette période du XXe siècle.
- Maintenant, on peut aussi, à partir de cette figure, identifier une autre source naturelle de variabilité du climat qui est le volcanisme.
  - ⇒ Alors, pour l'illustrer, vous avez ici l'éruption du volcan du Tambora en avril 1815 qui s'est traduite par un refroidissement de la température de l'ordre de 1,5 °C.
  - ⇒ Ce refroidissement, il est lié à l'injection de gaz dans l'atmosphère, des gaz soufrés, qui vont se combiner avec la vapeur d'eau atmosphérique pour former des petites particules aérosol d'acide sulfurique qui vont intercepter le rayonnement solaire et donc refroidir les couches inférieures de l'atmosphère et en particulier aussi refroidir la surface.
  - ⇒ Et cela on le voit sur les enregistrements de température et on peut le confirmer aussi par la modélisation, on voit bien qu'on a un effet climatique qui est lié à ces éruptions. Mais il ne se fait sentir que quelques années finalement après une éruption volcanique.

Alors pour présumer sur les facteurs naturels d'influence du climat.

- Donc on a d'abord des variations de paramètres astronomiques mais c'est pour des échelles de temps qui sont finalement supérieures à plusieurs dizaines de milliers d'années.
- Les variations de l'énergie émise par le Soleil peuvent faire varier aussi le climat à des échelles séculaires, de plusieurs dizaines d'années.
- Et les éruptions volcaniques perturbent le climat pendant quelques années après l'éruption, un à deux ans pour les éruptions majeures comme celle du Pinatubo en 1991 mais qui peuvent aussi le perturber à des échelles de temps plus longues s'il y a une modification de la fréquence du volcan.
- Et puis, une autre source de variabilité du climat qui elle aussi naturelle, c'est la variabilité interne qui est liée aux interactions entre les différents composantes du système climatique, qui peut être de nature chaotique pour une grande partie, qui a l'apparence du hasard mais avec aussi quelques modes de variabilité que l'on sait maintenant même prévoir comme le phénomène El Nino dans le Pacifique.

# Le rôle des activités humaines

## Serge PLANTON

*Responsable du Groupe de recherches climatiques – Météo France*

Je vais vous parler de détection d'attribution des changements climatiques en s'intéressant plus particulièrement au rôle des activités humaines sur l'évolution du climat récent.

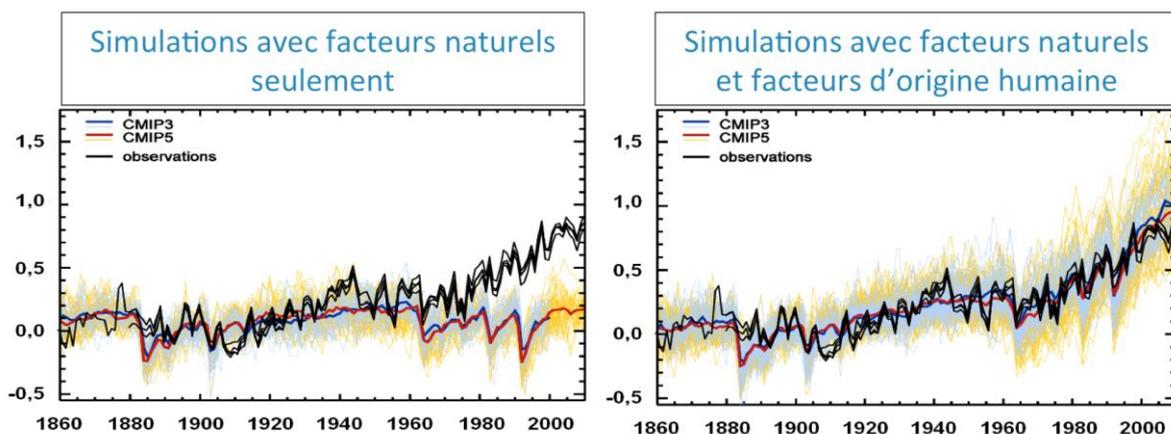
L'évolution du climat récent, on en a une représentation sur les figures qui sont sur cette diapositive.

- Sur la figure de gauche, on voit l'évolution de la température moyenne annuelle à l'échelle planétaire et sur une période depuis 1850 jusqu'à nos jours.
  - Cette température a été mesurée à partir de thermomètres qui sont soit dans les stations météorologiques, sur les continents soit à bord de bateaux ou à bord de bouées.
  - On constate que la température a augmenté au début du XXe siècle, ensuite qu'elle est restée relativement stable, voire même a diminué entre les années 40 et les années 70, avant de réaugmenter très rapidement et en toute fin de période, on voit un ralentissement du réchauffement.
- ⇒ L'année 2014 n'est pas représentée sur cette figure mais c'est en fait de l'année la plus chaude de toute la période depuis 1850.
- ⇒ Quand on prend les 20 dernières années, 19 de ces 20 dernières années sont parmi les 20 années les plus chaudes depuis 1850.
- Sur la figure de droite, on a la moyenne par décennie de la température.
  - La moyenne par décennie, ici, on le voit, a aussi évolué en particulier sur les trois dernières décennies.
- ⇒ On peut faire le constat que chacune d'entre elle est plus chaude que toutes celles qui l'ont précédée depuis 1850.
- ⇒ Donc on a bien un constat, un état de fait que le climat s'est réchauffé.
- Par ailleurs, on fait le constat que la concentration de certains gaz dans l'atmosphère, les gaz à effet de serre donc en particulier le dioxyde de carbone (le CO<sub>2</sub>), ont aussi augmenté, en particulier depuis le milieu du XIXe siècle.
  - Sur ces courbes, on a une représentation de la concentration du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, elle est exprimée en parties par million.

- ⇒ Une valeur de 300, cela veut dire une concentration de 0,3 pour 1000 par rapport à l'air qui la contient.
- ⇒ Cette augmentation est très rapide, comme on peut en faire le constat et pour autant, on ne peut pas forcément en déduire qu'il y a de relation de cause à effet entre cette augmentation et l'augmentation de la température que l'on a vue tout à l'heure.

Pour faire ce lien de cause à effet, il est absolument indispensable de passer par la simulation numérique, par la simulation du climat et - sans vous expliquer ce que sont les modèles -, je vais vous montrer les résultats de simulation qui montrent l'impact des activités humaines sur les évolutions climatiques récentes.

- Donc cette première figure montre l'évolution de la température moyenne à l'échelle planétaire en prenant ici comme référence le début du XXe siècle : en noir ce sont les observations et les courbes de couleurs représentent des résultats de deux générations de modèles.
  - En bleu la génération la plus ancienne ;
  - Et donc en rouge et en orange la génération actuelle des modèles climatiques.
- Parmi ces derniers ensembles de simulations il y a d'ailleurs des simulations qui ont été faites par des groupes climatiques de différents pays dont les États-Unis, la Chine et de modèles qui ont été utilisés également en France.
- Donc le constat que l'on peut faire, c'est que là, les modèles sont incapables de reproduire l'évolution de la température sur les 50 dernières années.

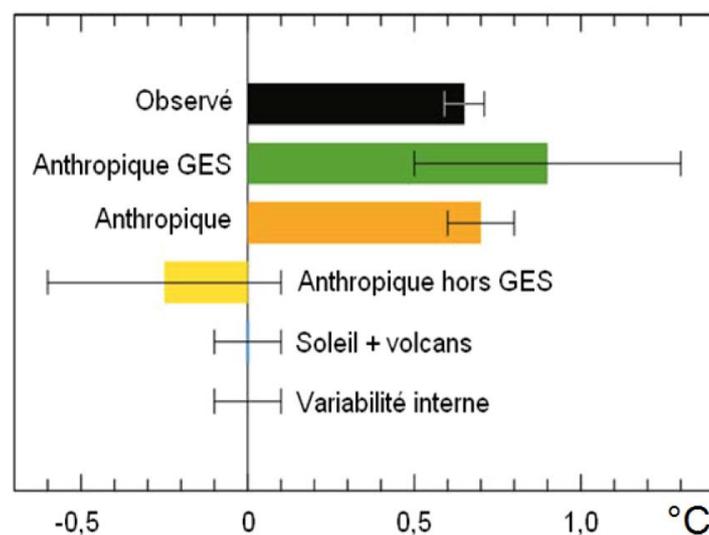


Source : GIEC, 2013

- ⇒ Il est important de bien noter que dans ces simulations-là, seuls les facteurs naturels de l'évolution du climat ont été pris en compte. C'est-à-dire la variabilité solaire d'une part et le volcanisme d'autre part.
- ⇒ D'ailleurs, on note l'impact de l'éruption volcanique du Pinatubo notamment, en 1991 qui se traduit par un refroidissement de quelques dixièmes de degrés que les modèles simulent que l'on peut retrouver également dans les observations.

- Maintenant, si on prend en compte par ailleurs dans ces simulations l'évolution de la concentration des gaz à effet de serre d'origine humaine et également l'évolution de la concentration des aérosols (les particules en suspension dans l'atmosphère qui peuvent être liées aux activités humaines comme les transports par exemple), dans ce cas-là, les modèles arrivent à simuler l'augmentation de la température des 50 dernières années.

>Alors évidemment, on ne peut pas se contenter de ce seul résultat pour en déduire que les activités humaines jouent un rôle majeur sur le climat. Il faut faire des études qui sont plus approfondies et notamment une de celles-là a conduit également à calculer quelles sont les valeurs de tendances sur la période 1951 - 2000, qui sont dues aux différents facteurs d'évolution du climat.



Source : GIEC, 2013

- L'observation est en noir : le climat a augmenté de 0,6 à 0,7°C sur cette période et on peut calculer, pour chaque facteur, l'évolution du climat, quelle est sa contribution potentielle à ce changement de température.
- ⇒ On fait le constat que l'on peut avec les seules activités anthropiques expliquer l'augmentation de 0,6 à 0,7°.
- Par ailleurs, la variabilité naturelle donnerait un réchauffement qui serait compris entre -0,1 et +0,1 sur cette période et ce pour les facteurs liés au volcanisme et à la variabilité solaire, et la variabilité interne du climat à peu près la même chose.
- Après, il est plus difficile de séparer quels sont les effets liés à l'augmentation des gaz à effet de serre et les effets qui sont liés aux particules d'aérosols, mais la conclusion c'est bien que les activités anthropiques ont joué un rôle majeur.

C'est d'ailleurs une des conclusions principales du dernier rapport du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, le GIEC, puisqu'il y est dit que l'influence humaine sur le système climatique est claire et qu'il est extrêmement probable, c'est-à-dire

95 % de chances d'après la probabilité donnée par les experts, que l'influence humaine a été la cause principale du réchauffement depuis le milieu du XXe siècle.

Alors on a conduit un certain nombre d'études autres que sur la seule température moyenne à la surface, notamment on a pu conclure qu'on avait détecté également un signal des activités humaines dans les températures océaniques, dans la réduction de l'extension de la banquise arctique, dans l'augmentation de l'humidité atmosphérique et concernant les extrêmes, dans les extrêmes quotidiens de température, les températures minimales et maximales quotidiennes.

Pour autant, les recherches se poursuivent et il est beaucoup plus difficile de détecter maintenant des effets sur des événements qui sont extrêmes, qui sont rares.

- ⇒ Cela fait partie des recherches qui sont menées, on essaie de savoir si le changement lié aux activités humaines a pu changer la probabilité d'occurrence d'un cyclone particulièrement intense comme ceux qu'on a pu connaître ces dernières années.
- ⇒ Et également, on essaie de mieux comprendre quelle est la variabilité du climat sur des échelles de temps relativement courtes, à l'échelle d'une décennie, comme par exemple le ralentissement récent dont on sait maintenant qu'il est très vraisemblablement attribuable à de la variabilité interne climatique, pour l'essentiel.