

# MOOC CLIMAT

Causes et enjeux du changement climatique



## SEMAINE 1 : LE CLIMAT

*Ce document contient les transcriptions textuelles des vidéos proposées dans la partie « Naissance d'une problématique » 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.*

### *Changement climatique : la naissance d'une problématique*

**Jean JOUZEL**

*Directeur de recherche – CEA*

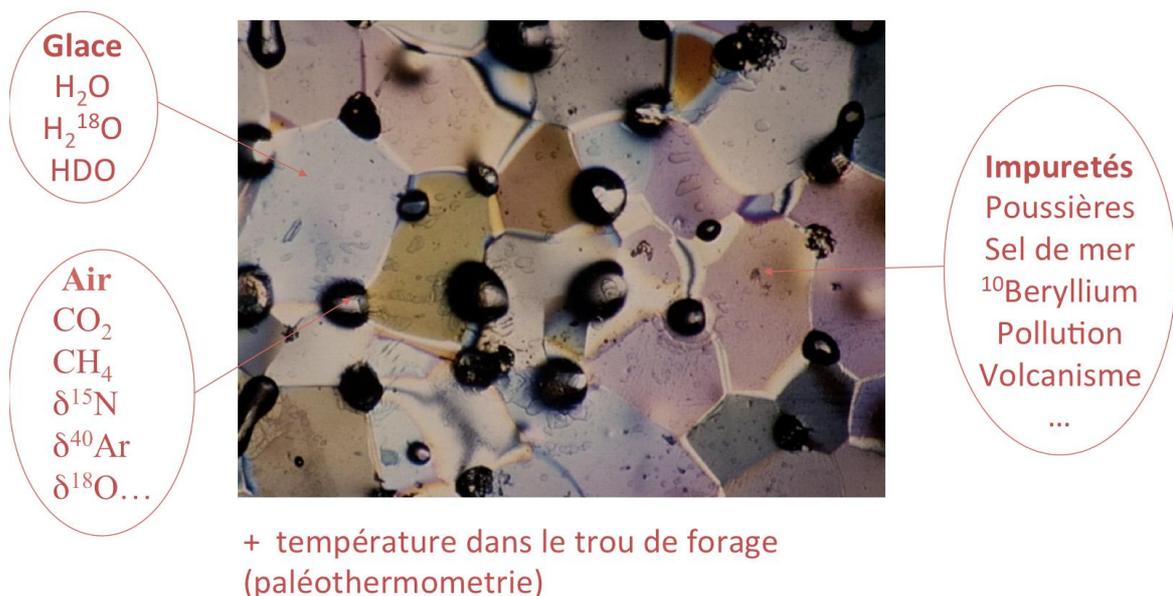
L'idée d'une influence de l'effet de serre liée aux activités humaines est née au début du XXe siècle à l'initiative d'un chercheur suédois : Svante ARRHENIUS, qui a émis l'hypothèse qu'à travers l'utilisation du charbon qui commençait à émettre des quantités de gaz carbonique assez importantes, et bien nous allions vers des réchauffements assez importants à la fin du XXe siècle.

⇒ Svante ARRHENIUS avait aussi prédit que l'effet de serre avait une influence sur les cycles glaciaires et interglaciaires.

Au milieu du XXe siècle on voit le premier réseau d'observatoires, c'était à Hawaï, disons de mesures directes des teneurs en gaz carbonique dans l'atmosphère, puis ce fut le méthane dans les années 70, le protoxyde d'azote également, donc on a maintenant une image très complète de l'évolution des gaz à effet de serre dans l'atmosphère en réponse aux activités humaines.

Mais il est aussi important et intéressant de regarder vers le passé qui est une mine d'informations vis-à-vis de ce problème du lien entre effet de serre et climat.

- Quand on veut regarder vers le passé, on peut s'intéresser à des archives relativement récentes qui nous permettent de reconstituer le climat par exemple du dernier millénaire, c'est le cas des archives historiques, des cernes d'arbres, des récifs coralliens, disons d'analyse des coraux.
  - Si on veut regarder plus loin dans le temps, et bien, on peut utiliser des sédiments marins, des stalagmites sur le continent mais aussi des glaces dans les régions polaires.
- Ces glaces, surtout des glaces de l'Antarctique (ici une carotte prélevée dans le cadre du projet EPICA au centre de l'Antarctique, au dôme C.), et bien ces glaces permettent de remonter à 800 000 ans (c'est plus de 3 kilomètres de forage), et leur analyse permet de reconstituer tout un ensemble de paramètres.
- ⇒ Ce sont des archives très riches, la glace elle-même nous permet de reconstituer la température.

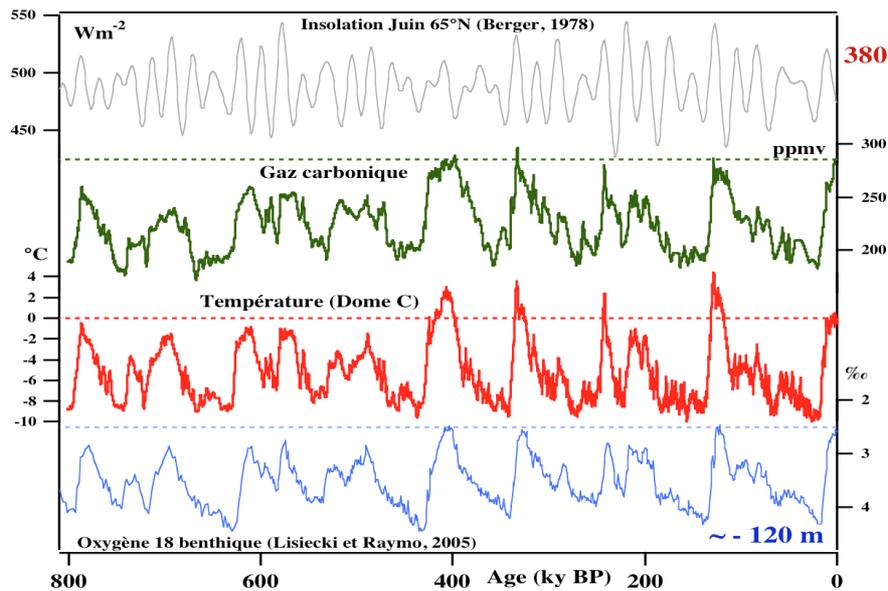


- ⇒ En effet la composition de la glace en isotopes, que ce soit le deutérium, l'isotope lourd de l'hydrogène ou l'oxygène 18, l'isotope lourd de l'oxygène 16, et bien ces concentrations en isotopes diminuent à mesure que la température diminue, à mesure qu'on va vers les régions polaires.
- ⇒ Tout simplement parce qu'à chaque fois qu'il y a condensation d'abord de pluie et de neige, et bien les condensats sont plus riches, les précipitations sont plus riches en oxygène 18 et en deutérium que la vapeur, si bien que la vapeur restante s'appauvrit progressivement quand on va depuis les régions tropicales, équatoriales vers les pôles.

- ⇒ Donc on a là vraiment un thermomètre qui nous permet de reconstituer les climats passés à partir de l'analyse isotopique de la glace.
- On peut aussi extraire les bulles d'air et donc là aussi, nous avons accès à différentes mesures : les gaz à effet de serre en particulier, le méthane, le protoxyde d'azote mais aussi bien sûr en premier lieu le gaz carbonique et puis il y a toute une série d'impuretés, des poussières, du sel de mer, du béryllium qui a cette caractéristique d'être influencé par l'activité solaire.
- ⇒ On peut donc remonter l'activité solaire à partir de l'analyse des glaces mais on y voit aussi tout ce qui concerne la pollution, au sens trivial du terme, et puis tous les événements volcaniques par exemple y sont enregistrés.
- ⇒ Donc on a des archives extrêmement riches et ce sont les seules qui permettent de comparer climat et effet de serre.
- Donc, dans ce forage d'EPICA, les premiers travaux sur le lien entre le climat et effet de serre datent du milieu des années 80, c'est le forage antarctique de Vostok qui nous a permis de remonter d'abord à un cycle climatique dans les années 80 et puis à 400 000 ans dans les années 90 et nous sommes remontés plus loin dans l'échelle de temps grâce à ce forage au dôme C. qui couvre 8 cycles climatiques.

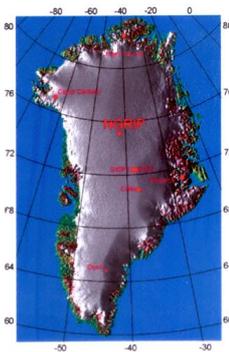
Alors là, de droite à gauche, nous remontons dans le temps, de 0 à 800 000 ans.

- La courbe rouge, au milieu, concerne, retrace la température sur le site en Antarctique, au cœur de l'Antarctique avec cette alternance de périodes glaciaires relativement longues et de périodes interglaciaires chaudes beaucoup plus courtes.
- ⇒ Par exemple, nous sommes dans une période interglaciaire depuis 10 000 ans. La précédente période interglaciaire chaude, c'était il y a 125 à 130 000 ans.
- ⇒ Et bien, on reconstruit cette température avec des températures en période glaciaire en Antarctique à peu près 10°C plus froides qu'aujourd'hui.



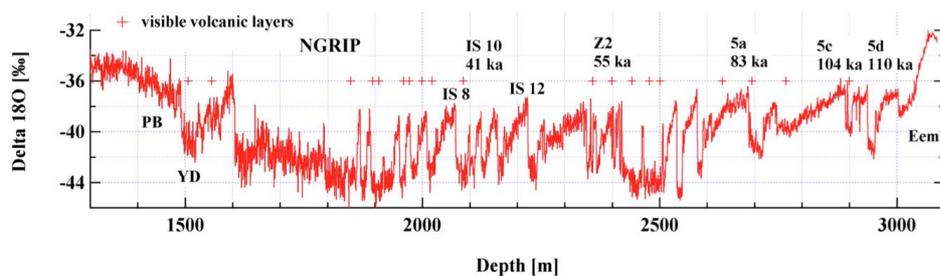
- Mais ce que l'on voit, la courbe en vert, un autre indicateur climatique, c'est l'élévation du niveau de la mer qui est mesurée, qui est analysée à partir des sédiments marins et on voit aussi là qu'en période glaciaire, et bien le niveau de la mer était à peu près 120 mètres plus bas qu'il ne l'est actuellement.
- ⇒ On voit bien donc qu'il y a des variations conjointes entre périodes glaciaires et niveau de la mer.
- Mais ce qui est peut-être le plus intéressant, c'est l'enregistrement de gaz carbonique qui montre des valeurs de gaz carbonique élevées en période chaude interglaciaire et beaucoup plus faibles (à peu près disons 180 parties par millions en période glaciaire, 280 parties par million en période chaude).
- ⇒ Alors ça permet de montrer aussi que nous sommes dans une période exceptionnelle, c'est-à-dire que nous sommes à 400 parties par million actuellement en gaz carbonique, c'est-à-dire qu'il y a une augmentation de 40 % de la quantité de gaz carbonique de l'atmosphère au cours des 200 dernières années.
- ⇒ C'est ce type d'enregistrement qui nous permet de dire que les valeurs que nous connaissons aujourd'hui n'ont jamais été atteintes au cours des 800 000 dernières années et de mettre en évidence ce lien entre effet de serre et climat à ces échelles de temps et c'était, je crois, très important pour visualiser le rôle de l'effet de serre dans le contexte du réchauffement climatique.
- Il faut bien souligner que ce n'est pas l'effet de serre qui lui-même gouverne l'alternance de ces cycles glaciaires et interglaciaires.
- ⇒ Le métronome de ces cycles c'est l'insolation, la courbe du haut. Ces variations d'insolation sont liées à l'évolution de la position de la Terre sur son orbite.

- ⇒ On voit par exemple, il y a 130 000 ans, l'insolation d'été était exceptionnellement élevée et ce sont ces variations d'insolation qui, disons, sont à l'origine du rythme du calendrier des périodes glaciaires et interglaciaires.
- Alors, un autre exemple qui nous vient du Groenland, d'information directement pertinente vis-à-vis du climat futur, c'est la découverte au début des années 90 dans les glaces polaires mais également dans les sédiments marins et dans d'autres enregistrements, des sédiments lacustres, des stalagmites, et des enregistrements continentaux également de variations extrêmement rapides du climat.



## Groenland

### Changements climatiques rapides



North GRIP Project : (NGRIP community, Nature, 2004)

- C'est vraiment à l'échelle d'une vie humaine, on voit ici un forage récent, celui de North GRIP et en fait on voit des variations de températures extrêmement rapides mais elles sont aussi extrêmement rapides pour les variations en teneur en méthane, en poussière, en précipitations et donc ces changements rapides sont très probablement liés à des changements de circulation océaniques dans l'Atlantique Nord et donc, on voit la richesse de ces enregistrements, que ce soit ceux du Groenland ou ceux de l'Antarctique pour tous ceux qui s'intéressent à l'évolution du climat.
- Vraiment, il est essentiel quand on s'intéresse au climat du futur de regarder vers le passé car il y a une continuité entre climat passé, climat d'aujourd'hui et climat futur qui fait que pour bien appréhender le climat futur, bien sûr ce n'est possible qu'avec des modèles, mais pour bien comprendre les mécanismes, il y a vraiment un apport des données du passé vis-à-vis de notre compréhension des mécanismes et des changements climatiques, de ce lien entre climat et effet de serre, de l'existence de variations climatiques rapides, qui n'auraient pas été mises en évidence sans ces glaces polaires et ces données paléoclimatiques.

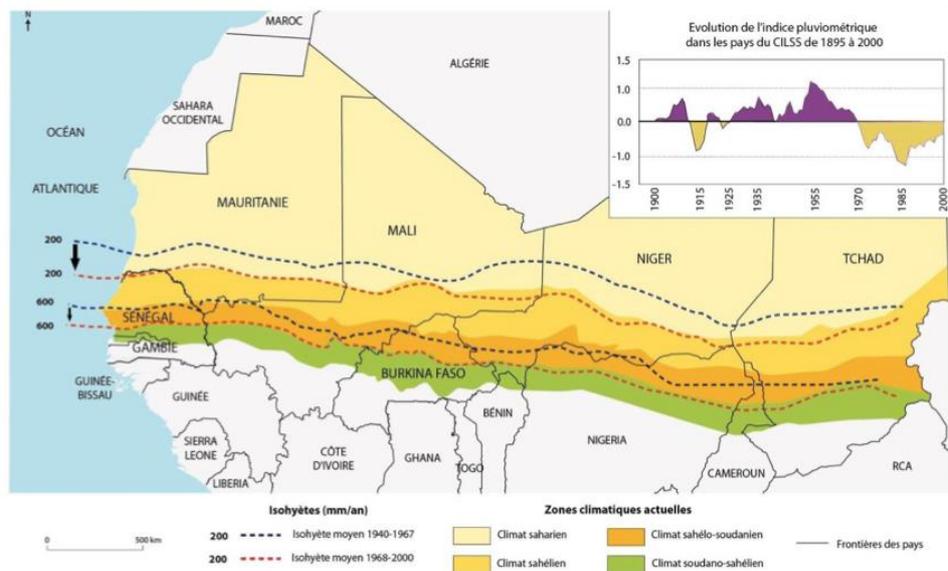
# La sécheresse au Sahel : première interrogation sur le rôle de l'homme sur le climat

**Katia LAVAL**

*Professeur émérite – Université Pierre et Marie Curie*

Le Sahel a connu des sécheresses épouvantables au début des années 70. Et ces sécheresses ont persisté pendant une vingtaine voire une petite trentaine d'années. Les chercheurs se sont posé la question : pourquoi ces sécheresses ont-elles existé pendant ces années-là ? Qu'est-ce qui a provoqué ces situations exceptionnelles ?

- Le Sahel est une région qui borde le Sahara, région terriblement désertique, les plus désertiques sur la planète et est une région où les pluies sont entre 200 mm par an et 600 mm par an.



## Zones Climatiques en Afrique

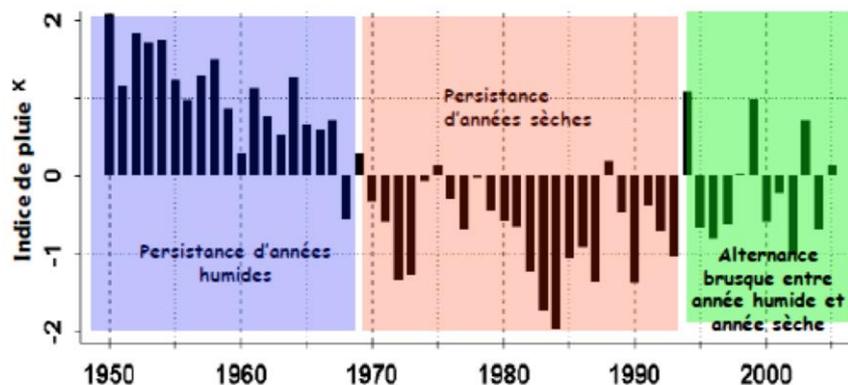
- Ce sont donc des pluies qui sont assez faibles et donc une diminution des pluies peut provoquer des situations épouvantables pour l'agriculture.
- ⇒ Et en effet, les sécheresses ont provoqué des famines et morts de populations.

Ces sécheresses ont provoqué l'intérêt des chercheurs parce que c'était d'abord un problème intéressant mais surtout parce que ça provoquait des situations sociales

terriblement graves et donc les chercheurs se sont posé la question des sécheresses au Sahel.

Regardez ce graphique : vous voyez que pendant une vingtaine d'années, des années 50 à 1970, et bien il y avait plutôt des situations humides au Sahel, donc on avait des pluies qui étaient normales. Et puis, arrivent les années 70, en particulier 72 - 76 - 87 et vous voyez des diminutions de pluie épouvantables.

## Évolution de l'indice des pluies au Sahel



⇒ Donc pendant ces périodes-là, les populations ont terriblement souffert.

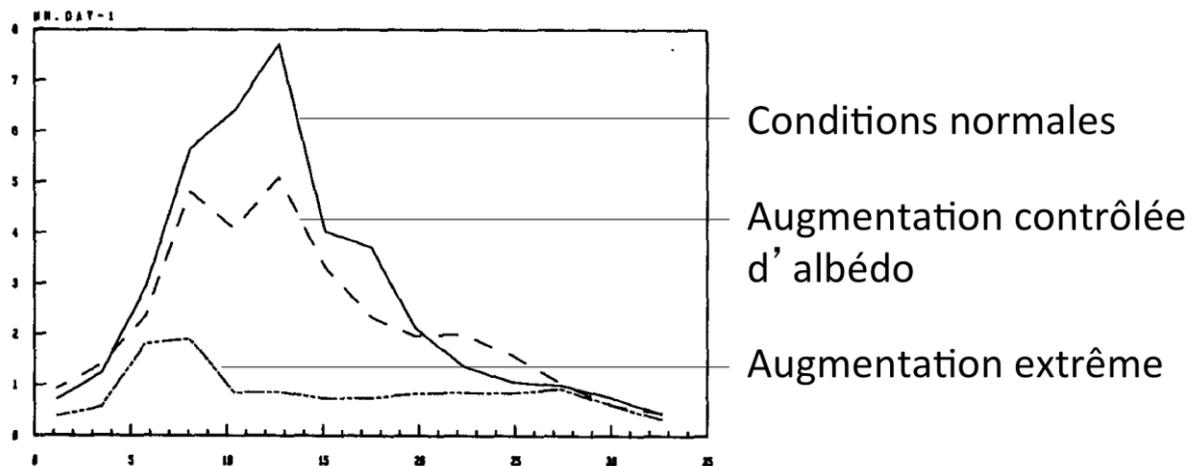
Pourquoi sommes-nous passés d'un régime qui était un régime humide à un régime qui était un régime de sécheresse où donc les difficultés apparaissaient de manière très importante pour toutes ces populations ?

- Deux chercheurs brillants qui étaient Jules CHARNEY et Joe OTTERMAN, ont proposé des théories pour expliquer ces sécheresses qui avaient existé non seulement au Sahel mais dans d'autres régions semi arides.
- ⇒ Et pour toutes ces régions, on avait changé l'usage des sols.
- Pour le Sahel par exemple, on avait fait des surpâturages dans ces régions et ces surpâturages faisaient disparaître les herbacées de ces régions.
- Or vous voyez dans ce graphique que vous avez des régions qui sont très jaunes, ce sont les régions où vous n'avez pas de végétation et qui sont des régions où vous avez un pouvoir réfléchissant du rayonnement solaire très important. Et puis il y a des arbres, et puis il y a des herbacées.



- ⇒ Et là, cet albédo du sol, ce pouvoir réfléchissant du rayonnement solaire est beaucoup plus faible.
- Donc il est évident que si vous changez le pouvoir réfléchissant du sol, vous changez la température et donc changer la forêt par exemple des déforestations dans les régions d'Inde qui bordent le désert du Dar, changer les herbacées par des surpâturages, change l'albédo du sol, ce pouvoir réfléchissant du rayonnement solaire.
- Ce qui est très particulier dans ces régions semi arides qui bordent les déserts, c'est que quand vous jouez sur la température du sol, vous jouez sur la circulation, vous jouez sur les mouvements ascendants de l'atmosphère, et alors là vous provoquez une variation de précipitations.
- La théorie de CHARNEY paraissait intéressante et celle de Joe OTTERMAN très semblable à la première, paraissait très intéressante, et on avait à cette époque justement le démarrage des modèles de circulation générale d'atmosphère, c'est-à-dire les prémices des modèles de climat que l'on utilise aujourd'hui.
- ⇒ Donc les chercheurs ont cherché à comprendre ce phénomène à l'aide de ces modèles. Ils ont simplement changé l'albédo des sols dans ces régions semi arides et ils ont regardé ce qui se passait au niveau des pluies.
- ⇒ Et donc, cet effet de surpâturage qui changeait l'albédo du sol, a entraîné dans les modèles une variation des pluies au Sahel et donc a entraîné, si vous voulez, une confirmation de la théorie de Joe OTTERMAN et de Jules CHARNEY.

- Alors, vous voyez là par exemple, une situation où on a un modèle qui représente la variation de pluie des régions en fonction de la latitude, de 0 à 35° nord dans les régions en Afrique.



- ⇒ Et vous voyez que pour une situation normale où l'albédo est intermédiaire entre le sol nu et la végétation, et bien on a une quantité de pluie qui est normale, et quand on change l'albédo en provoquant justement ce surpâturage, et bien la pluie diminue de manière assez importante.
- ⇒ Donc on a bien une confirmation de la théorie de CHARNEY et si on exagère le phénomène en changeant extrêmement l'albédo, en mettant un albédo de désert, et bien on obtient une situation désertique.
- Donc bien évidemment, cette théorie a connu un certain succès. Mais ce n'était pas tout. C'était l'époque où nous avons en même temps des mesures de température de la mer par satellite. Et on a fait des expériences où on a changé les températures de la mer en Atlantique, en Pacifique, en Inde mais surtout en Atlantique et on s'est aperçu que quand on prescrivait les températures de la mer des années sèches ou quand on prescrivait dans les modèles les températures de la mer des années humides, on arrivait aussi à cet effet de sécheresse au Sahel ou d'année humide.
- ⇒ Et donc on avait deux théories qui s'affrontaient.

Donc comment expliquer cette variabilité d'une année sur l'autre que vous voyez là dans les sécheresses au Sahel mais en même temps cette persistance, puisque ça a duré pendant 20 ans : de 1950 à 70, des années humides, puis des années sèches ?

- Donc des théories se sont élaborées, qui expliquaient que la variabilité interannuelle et la variabilité décennale sur plusieurs dizaines d'années pouvaient s'expliquer d'une part par des effets de température de la mer et d'autre part, par des effets de végétation et que les deux devaient intervenir en même temps.

⇒ Donc vous voyez deux théories qui s'affrontent, avec l'une un effet de l'homme, le surpâturage, l'autre un effet de variabilité interne du système climatique où l'homme n'est responsable en rien.

On en est aujourd'hui ? Regardez ce graphique.

➤ Depuis une dizaine, quinzaine d'années, le Sahel reverdit, - on le mesure par les satellites encore une fois -, et en même temps, la pluie augmente.

➤ Et donc, on doit expliquer pourquoi il y a un nouveau régime qui s'établit.

⇒ Est-ce encore une fois la variabilité interannuelle due aux températures de la mer en Atlantique ? Certains le croient.

⇒ D'autres pensent que la végétation est intervenue et que peut-être des effets sur la végétation ont provoqué cet effet-là.

⇒ D'autres pensent que l'humidité de l'atmosphère à cause des effets de changements climatiques dus aux gaz à effet de serre a changé et que cette augmentation d'humidité sur le Sahara a provoqué une mousson plus importante et qui est allée plus au nord et qui touchait le Sahel.

⇒ Vous voyez que ces théories s'affrontent et si je peux ajouter un mot à cette complexité des phénomènes, je vous dirais que l'augmentation du gaz carbonique dans l'atmosphère provoque une augmentation de la végétation et qu'au Sahel, et bien c'est peut-être ça qui a provoqué l'augmentation de végétation et ensuite l'augmentation de précipitations.

Donc vous voyez que toutes ces théories s'affrontent, on cherche à comprendre de plus en plus l'interaction entre ce grand régime de mousson qui effleure le Sahel et les circulations de méso-échelles qui sont liées à ce qui se passe sur la végétation, sur les zones humides, sur les zones sèches dans ces régions et les chercheurs travaillent encore là-dessus.