

## Climat : la croissance végétale en panne sèche

C'est une découverte inquiétante publiée hier dans la revue *Science Advances* par une équipe très internationale (1). Elle porte sur une des questions majeures du réchauffement climatique : jusqu'où la végétation planétaire va-t-elle réagir positivement à l'élévation du taux de CO<sub>2</sub> atmosphérique et des températures ? Et donc stocker une part du CO<sub>2</sub> supplémentaire que nous injectons chaque année dans l'atmosphère, réduisant ainsi le réchauffement futur en permettant aux arbres et à certaines cultures de croître plus vite. La réponse de cette étude ? Ce phénomène positif se serait arrêté vers l'an 2000. A cause... de l'humidité qui croît moins vite que la température de l'air. On pourrait la résumer par un adage shadokien : plus c'est moins humide que ce serait possible et moins les végétaux croissent. Explications.

### Increased atmospheric vapor pressure deficit reduces global vegetation growth

Wenping Yuan<sup>1,2\*</sup>, Yi Zheng<sup>1</sup>, Shilong Piao<sup>3</sup>, Philippe Ciais<sup>4</sup>, Danica Lombardozzi<sup>5</sup>, Yingping Wang<sup>6,7</sup>, Youngryel Ryu<sup>8</sup>, Guixing Chen<sup>1,2</sup>, Wenjie Dong<sup>1,2</sup>, Zhongming Hu<sup>9</sup>, Atul K. Jain<sup>10</sup>, Chongya Jiang<sup>11</sup>, Etsushi Kato<sup>12</sup>, Shihua Li<sup>1</sup>, Sebastian Lienert<sup>13</sup>, Shuguang Liu<sup>14</sup>, Julia E.M.S. Nabel<sup>15</sup>, Zhangcai Qin<sup>1,2</sup>, Timothy Quine<sup>16</sup>, Stephen Sitch<sup>16</sup>, William K. Smith<sup>17</sup>, Fan Wang<sup>1,2</sup>, Chaoyang Wu<sup>18</sup>, Zhiqiang Xiao<sup>19</sup>, Song Yang<sup>1,2</sup>

Atmospheric vapor pressure deficit (VPD) is a critical variable in determining plant photosynthesis. Synthesis of global climate datasets reveals a sharp increase of VPD after the late 1990s. In response, the vegetation green trend indicated by a satellite-derived vegetation index (GIMMS3g), which was evident before the late 1990s, subsequently stalled or reversed. Terrestrial gross primary production derived from two satellite-based models (revised EC-LUE and MODIS) exhibits persistent and widespread decreases after the late 1990s due to increased VPD, which offset the positive CO<sub>2</sub> fertilization effect. Six Earth system models have consistently projected continuous increases of VPD throughout the current century. Our results highlight that the impacts of VPD on vegetation growth should be adequately considered to assess ecosystem responses to future climate conditions.

Jusqu'à présent, les climatologues observaient une réponse positive de la végétation planétaire au réchauffement climatique. C'est le fameux « verdissement » observé par satellites, notamment aux hautes latitudes nord – [un verdissement non général, contrarié par des phénomènes locaux et par exemple la déforestation dans les forêts tropicales](#). Logique. Plus de CO<sub>2</sub>, c'est plus de carbone disponible pour la photosynthèse. Des températures plus élevées, c'est favorable dans une bonne partie des terres émergées de l'hémisphère nord, tempérées et boréales.

Mais le spécialiste es-plantes, voire le jardinier du dimanche, auraient tout de suite tiqué à ce raisonnement. En se demandant « *et l'eau ?* ». C'est bien d'avoir température et CO<sub>2</sub>, mais sans eau, les plantes ne peuvent les utiliser pour croître. Et si cette eau est là mais limitée ? Les besoins des feuilles des plantes en eau doivent être satisfaits au maximum pour photosynthétiser à fond, car si elles sont en manque, pour prévenir les dégâts de la sécheresse sur la plante ou l'arbre, elles vont fermer leurs stomates afin de moins « transpirer » et économiser leur eau.

#### Relation de Clausius-Clapeyron

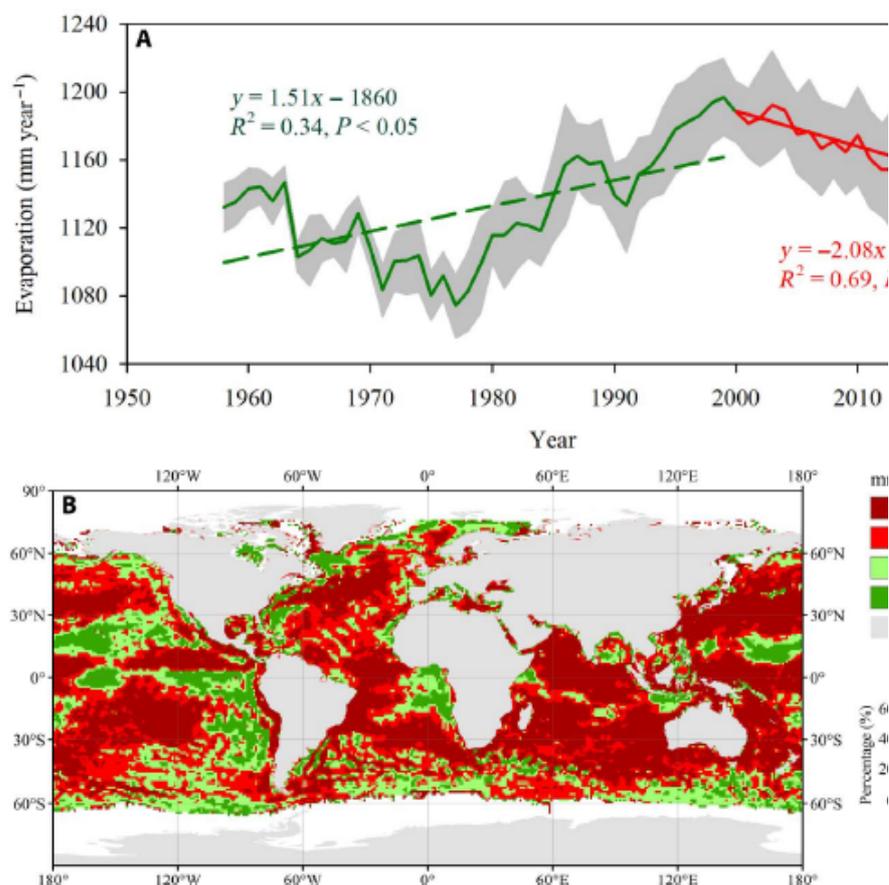
C'est là que la physique de base intervient. En principe, plus l'eau et l'air sont chauds, et plus il y aura d'évaporation des océans. Puis, plus l'air est chaud et plus il peut contenir de vapeur d'eau (environ 7% par degré de plus, c'est la relation de Clausius-Clapeyron). Donc, en principe, tout va bien. Mais en réalité, on s'écarte du principe. Notamment, l'air ne contient pas nécessairement toute la vapeur d'eau qu'il peut contenir. Les scientifiques ont un nom

pour ça, cela s'appelle le VPD (vapor pressure deficit, déficit de pression de vapeur). Et le VPD quantifie le « manque » de vapeur d'eau relativement au maximum possible.

Or, ont découvert les spécialistes des flux de chaleur et d'humidité à l'échelle mondiale, il se passe un truc énorme, au tournant des 20ème et 21ème siècle. Un truc encore pas vraiment compris d'ailleurs, écrivent honnêtement les auteurs de l'article de *Science Advances*. En résumé : un, l'évaporation des océans a cessé d'augmenter et même diminué; deux le VPD augmente; trois, les indices de croissance végétale ont cessé d'augmenter, voire diminuent.

Reprenons ces trois points en graphiques, ceux un peu abscons, de l'article scientifique.

### 1 – L'évaporation a cessé d'augmenter :

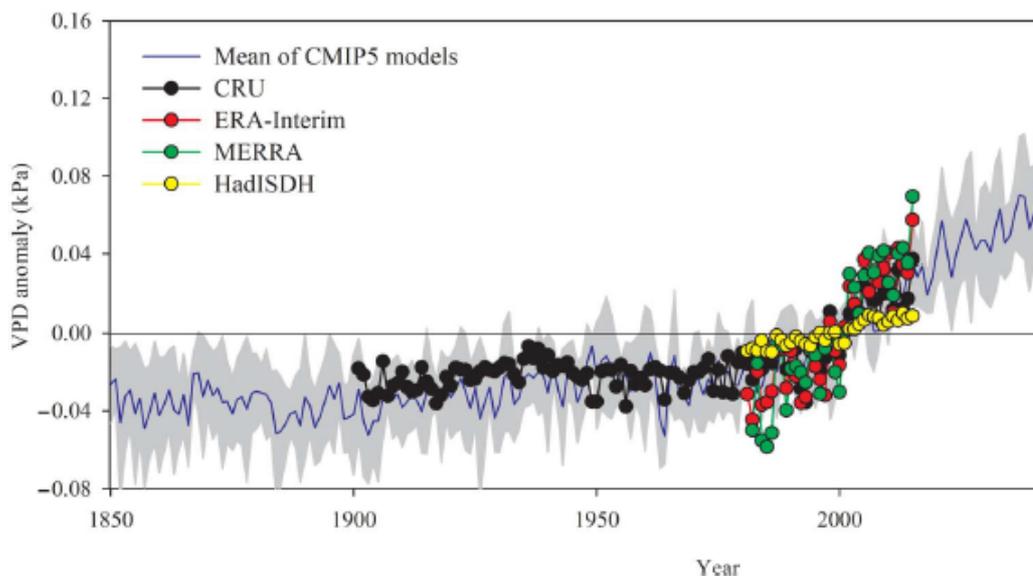


**Fig. 2.** Comparison of oceanic evaporation ( $E_{\text{ocean}}$ ) trends during the two periods of 1957–1998 and 1999–2015. (A) evaporation. (B) Spatial pattern on differences of oceanic evaporation trends between 1999–2015 and 1957–1998. Gray shade (B) shows the frequency distributions of the corresponding differences.

Evolution de l'évaporation océanique 1957-2015, tendance planétaire (en haut), et carte. La rupture de pente vers l'an 2000 est spectaculaire et inattendue (et pas vraiment comprise). Les valeurs proviennent d'une analyse des flux entre eau et atmosphère.

### 2- Le déficit de pression de vapeur d'eau augmente :

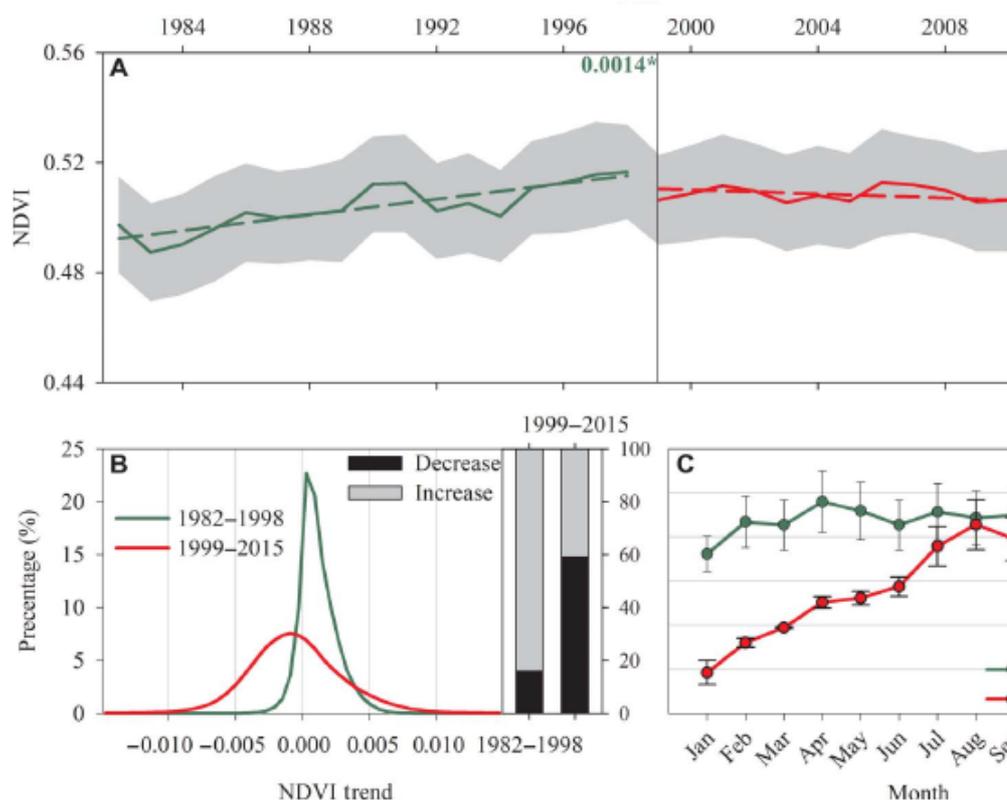
## SCIENCE ADVANCES | RESEARCH ARTICLE



**Fig. 1. Global mean vapor pressure deficit (VPD) anomalies of vegetated area over the growing season.** Anomalies are data from all datasets are available. Vegetation areas were determined using the MODIS land cover product. Blue line and g simulated by six CMIP5 models under the RCP4.5 scenario.

Evolution du déficit de pression de vapeur d'eau dans l'atmosphère au dessus des zones géographiques végétalisées et durant la saison de croissance végétale. La courbe continue et son halo sont des sorties de modèles et de simulations informatiques, les points colorés sont des réanalyses à partir d'observations, météo pour l'ère pré satellites, puis satellites.

### 3- Les indices de croissance végétale diminuent :



**Fig. 3. Comparisons of NDVI trends over the globally vegetated areas from 1982 to 2015. (A)** Time series of NDVI. The \* indicates the significant changes at a significance level of  $P < 0.05$ . **(B)** Probability density function of NDVI trends during proportion of increased (gray) and decreased (black) responses. **(C)** Mean monthly NDVI trends between the two periods indicate  $\pm 1$  SD.

Evolution de l'indice de végétation planétaire de 1982 (début des observations satellites) à 2015. L'indice de végétation par différence normalisée, NDVI, montre la vigueur et la quantité de la végétation. La rupture de pente est significative estiment les auteurs de l'article. La diminution est surtout sensible au printemps des hémisphère nord et sud. Le pic de 2011 est à attribuer à la Niña (phase négative de l'oscillation du Pacifique tropical) qui produit des pluies plus intenses dans certaines régions tropicales couvertes de forêts. Cet indice provient de mesures satellitaires en lumière rouge et infrarouge.

Il est intéressant de considérer la répartition planétaire de ce phénomène. C'est ce que permet ce dernier graphique de l'article. Il montre qu'entre la période 1982/1998 (carte A), et la période 1999/2015 (carte B), de vastes régions (en vert) qui montraient une réaction positive au réchauffement et à l'augmentation de la teneur en  $\text{CO}_2$  de l'air ont basculé dans une réaction inverse (en rouge).

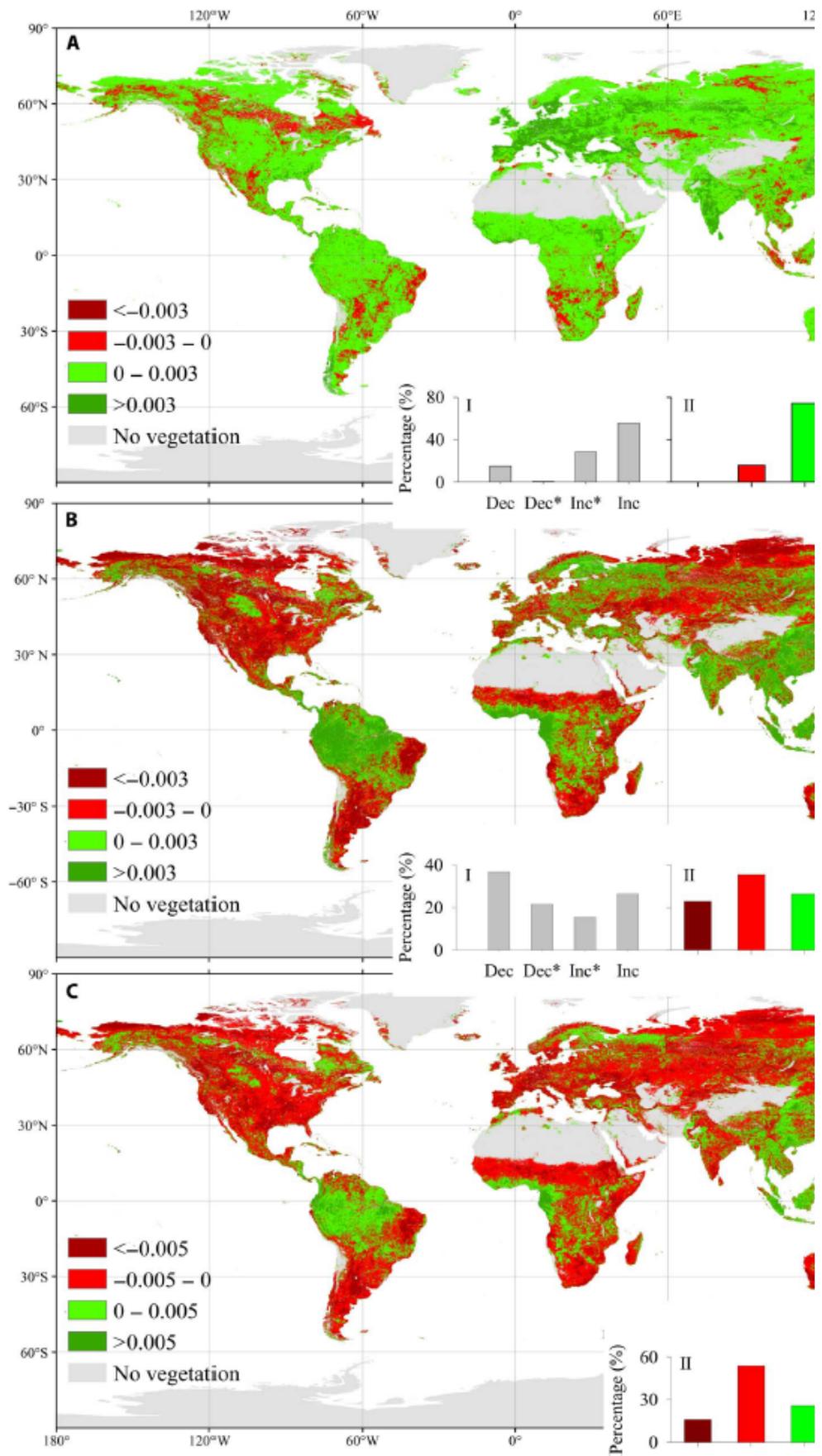


Fig. 4. Comparison of NDVI trends over the globally vegetated areas between two periods of 1982–1998 and 1999–2015. (A) of 1999–2015. (C) Differences of NDM trend between 1999–2015 and 1982–1998. The insets (I) show the relative frequency (Dec\*;  $P < 0.05$ ), decreases (Dec), increases (Inc), and significant increases (Inc\*), and the insets (II) show the frequency dis

Comparaison de l'indice de végétation entre 1982-1988 (A) et 1999-2015 (B).

Les auteurs de l'article estiment que leurs analyses montrent que le déficit croissant de vapeur d'eau contribue aux mortalités observées dans les forêts et liées à des sécheresses. Ce phénomène conduit à une réduction de l'ouverture des stomates des feuilles et donc à une diminution de la photosynthèse. En outre, si les sols sont secs, une demande trop forte d'eau par les parties supérieures de l'arbre peut rompre la continuité du cheminement de la sève et provoquer l'affaiblissement ou la mort de l'arbre.

Enfin, ils ont comparé leurs observations aux simulations de modèles informatiques de végétations. Or, un seul parvient à simuler correctement ce qu'ils ont observé. La plupart des modèles actuels sous-estiment le problème posé par le déficit croissant de vapeur d'eau et leur vision du futur du cycle du carbone est beaucoup trop optimiste. Or, une accentuation du phénomène observé par les auteurs conduirait à diminuer la part de nos émissions de CO<sub>2</sub> captée par la biosphère, et une accélération du réchauffement climatique.



Wenping Yuan, Université Sun Yat-Tsen, Canton.

Cet article découle d'un travail d'analyse très complexe sur des jeux de données satellitaires très lourds, sur l'ensemble de la planète. Il a été conduit par une équipe internationale (Chine, France, Australie, Corée du Sud, USA, Japon, Suisse, Allemagne, Royaume-Uni). Les scientifiques Chinois y ont joué le rôle majeur ([Wenping Yuan, université Sun Yat-Sen](#) de Canton en est le premier auteur) comme c'est de plus en plus souvent le cas dans les coopérations internationales ([lire cet article sur la place de la Chine dans la science mondiale](#)). En France, c'est Philippe Ciais, un spécialiste mondial du cycle du carbone ([Laboratoire des sciences de l'environnement et du climat \(CEA/CNRS/Université Paris Saclay\)](#), [l'un des scientifiques les plus cités en 2018 l'échelle mondiale](#), qui y a participé.

### Sylvestre Huet

(1) W. Yuan *et al.* *Science Advances* 14 août 2019. [L'article est en accès libre ici.](#)

### Sur le blog :

- ▶ [Climato-scepticisme et médias : la duperie.](#)
- ▶ [Trois jours de fonte record au Groenland.](#)
- ▶ [Les forêts tropicales sont à l'équilibre pour le CO<sub>2</sub>.](#)