

Vaccins antitumoraux ②

On injecte au patient des antigènes (sous la forme de peptides, d'ADN, de cellules dendritiques ou virus modifiés) pour stimuler une réponse antitumorale.

Virothérapie ②

On détourne des virus pour cibler les cellules tumorales et les détruire.

Cytokines ② ③

On injecte au patient des molécules (cytokines) telles que IL2 qui stimulent le système immunitaire.

Levée des freins immunitaires ③ ⑥

On injecte des anticorps qui débloquent les verrous du système immunitaire.

Anticorps multispécifiques ⑥

On injecte des anticorps qui reconnaissent à la fois les cellules cancéreuses et les lymphocytes T, ce qui favorise leur rencontre.

Thérapies cellulaires ③ ⑥

On modifie génétiquement des lymphocytes T prélevés au patient afin de leur faire exprimer un récepteur conçu pour reconnaître un antigène tumoral, puis on les réinjecte au patient.

Anticorps antitumoraux ⑥

On injecte des anticorps spécifiques de protéines des cellules tumorales ou du stroma (la charpente de la tumeur), afin de recruter les lymphocytes T cytotoxiques.



PLS

Les thérapies cellulaires à base de lymphocytes T modifiés sont les plus récentes. Sont-elles prometteuses ?

E.R. : Oui, certainement. Plusieurs stratégies visent à ajouter à la surface des lymphocytes T du patient des protéines qui les aideront à reconnaître les tumeurs. Mais, là aussi, le traitement nécessite des équipes spécialisées et une logistique de haute qualité, car la prise en charge de la toxicité est complexe. Avec l'immunothérapie, on joue avec le feu. C'est une arme à double tranchant. L'idée est de déclencher une réponse de l'hôte contre la tumeur, mais la tumeur fait partie de l'hôte. Et des cellules saines portent parfois les mêmes antigènes. La réponse immunitaire activée risque donc de les atteindre, surtout si elle est puissante. On prend ce risque car, le plus souvent, la tumeur est une maladie agressive.

PLS

Arrive-t-on à cibler une tumeur, pour limiter la toxicité du traitement ?

E.R. : Non, pas encore suffisamment, car les antigènes exprimés uniquement dans les cellules tumorales sont quasi inexistantes. Pour pallier le manque de sélectivité des thérapies cellulaires, on développe des sortes

d'interrupteurs qui éteindraient la réponse immunitaire en cas d'effets secondaires trop importants. Mais c'est encore exploratoire. On essaye aussi de trouver de nouvelles cibles plus spécifiques des tumeurs, mais on a souvent de mauvaises surprises. Un lymphocyte modifié pour reconnaître un antigène que l'on croyait spécifique de la tumeur peut, par malchance, interagir avec une molécule normale de l'hôte et déclencher des complications. Une approche à l'étude pour limiter la toxicité du traitement consiste à réserver les thérapies cellulaires à des patients dont la maladie est peu disséminée. Cela permettrait d'éviter de déclencher une inflammation systémique trop importante.

PLS

Vous dites que l'on essaye de tester les associations de thérapies. Peut-on espérer une médecine propre à chaque patient ?

E.R. : On n'a pas encore assez de biomarqueurs des tumeurs – de signatures moléculaires spécifiques de telle caractéristique tumorale – pour différencier les patients. On a bien des pistes, mais non validées, comme la protéine PD-L1, qui se lie à PD-1. Dans un essai récent sur des patients atteints d'un cancer du poumon avancé et traités en première ligne avec du pembrolizumab, on s'est

aperçu que, chez certains dont plus de 50 % des cellules tumorales exprimaient PD-L1, la réponse au traitement était très bonne. Mais regarder l'expression de cette protéine est insuffisant, car des patients dont la tumeur ne l'exprimait pas ont également bien répondu. Un autre facteur limitant est l'hétérogénéité de la tumeur : les cellules tumorales sont loin d'être toutes identiques. La solution viendra, je pense, d'une approche combinatoire : la recherche de PD-L1, mais aussi de marqueurs d'autres points de contrôle ou de l'expression de certains gènes d'inflammation. En effet, des signatures de l'inflammation nous informent que l'hôte a déjà produit une réponse immunitaire contre le cancer, ce qui suggère qu'il répondra bien aux immunothérapies.

L'approche combinatoire sera aussi l'avenir de l'immunothérapie. Dans quelques cas où la tumeur est infiltrée de cellules immunitaires activables (mélanome, certains types de cancer du poumon et de la vessie...), une immunothérapie peut suffire. Mais pour une tumeur avec faible infiltrat immunitaire (cancers du sein et de l'ovaire, par exemple), il faudra lui adjoindre une chimiothérapie, radiothérapie ou autre. L'été prochain, nous lançons une étude clinique dans ce sens sur le cancer du col de l'utérus. ■

Propos recueillis par Marie-Neige Cordonnier

Climatologie

El Niño n'explique pas tout

On accuse souvent El Niño, phénomène climatique capricieux et influent, d'être responsable d'événements météorologiques extrêmes. L'épisode le plus récent montre pourtant que d'autres phénomènes jouent aussi un rôle.

Emily Becker





TEL UN MONSTRE MARIN FANTASTIQUE,
le phénomène climatique El Niño déverse
sa colère sur les côtes américaines.
Dans l'imagerie populaire, il est annonciateur
de fortes pluies, en particulier en Californie.
Mais un examen des vingt derniers
épisodes El Niño, notamment celui
de 2015-2016, infirme cette idée.

Pluies diluviennes et inondations dans certaines régions, sécheresses dans d'autres... Le coupable porte souvent le nom d'El Niño, désigné ainsi par les pêcheurs sud-américains car, certaines années, il marque pour eux la fin de la saison de la pêche après les festivités de Noël (*el niño*, «l'enfant» en espagnol, faisant référence à l'Enfant Jésus). Ce phénomène climatique puissant et récurrent prend naissance dans les eaux de l'océan Pacifique et étend son influence à l'échelle du globe, avec de multiples répercussions : l'agriculture et les réserves d'eau sont perturbées, des épidémies sont parfois favorisées, etc.

Le continent américain est directement exposé aux caprices d'El Niño. La Californie, par exemple, est particulièrement sensible à ce phénomène. Cet État produit plus de 90 % des tomates, des amandes et des brocolis consommés aux États-Unis, ainsi que de nombreux autres produits agricoles. Or ces cultures nécessitent beaucoup d'eau et sont très vulnérables aux épisodes de sécheresse. Mais El Niño fait-il vraiment à lui seul la pluie et le beau temps, comme le suggèrent les médias et certains météorologues ? En fait, non. D'autres phénomènes interviennent et renforcent les effets d'El Niño ou les atténuent. Aussi, deux épisodes d'El Niño d'intensité comparable peuvent avoir des conséquences météorologiques très différentes.

Par exemple, le dernier épisode El Niño, celui de 2015-2016, a été l'un des plus intenses de ces cinquante dernières années, mais il n'a apporté que très peu de pluie en Californie du Sud.

Pourtant, au printemps 2015, lorsque la NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration*, l'Agence américaine d'observation des océans et de l'atmosphère – annonça qu'un épisode El Niño se préparait, tous les agriculteurs californiens furent soulagés. La sagesse populaire disait en effet qu'El Niño apportait des pluies abondantes. Or, depuis quatre années, la Californie était en situation de grave sécheresse. Les réservoirs d'eau étaient bien au-dessous de leurs capacités et les aquifères souterrains étaient trop exploités. Le manteau neigeux des montagnes, une source importante d'eau tout au long du printemps et de l'été, avait presque disparu dans de nombreuses régions. Le retour d'El Niño était donc *a priori* une bonne nouvelle, mais cet espoir a été déçu.

■ L'AUTEURE



Emily BECKER est chercheuse contractuelle au Centre de prévision climatique de la NOAA, l'Agence américaine d'observation des océans et de l'atmosphère, à College Park.

Revenons au phénomène climatique lui-même. À quoi correspond-il ? El Niño est la phase chaude d'un cycle de réchauffement et de refroidissement des eaux de surface de l'océan Pacifique tropical, cycle nommé Enso (l'acronyme anglais pour *El Niño-Southern Oscillation*, El Niño-Oscillation australe). La phase froide est nommée La Niña. Ce cycle se reproduit environ tous les trois à sept ans. Quand l'un ou l'autre phénomène apparaît, il perdure pendant six mois à un an. Durant un épisode El Niño, les eaux chaudes réchauffent l'air qui les surmonte, ce qui provoque des changements dans la circulation atmosphérique, qui touchent toute la planète.

La NOAA, où j'effectue des recherches sur le climat, peut habituellement voir venir un épisode El Niño ou La Niña avant qu'il n'exerce sa plus forte influence. Mais si les prévisionnistes savent bien détecter la formation d'un épisode El Niño ou La Niña, ils ont encore du mal à prévoir les changements climatiques régionaux qui en résultent. Depuis 1950, année où la NOAA a commencé à suivre le phénomène, seuls la moitié environ des vingt épisodes El Niño survenus ont amené des précipitations supérieures à la moyenne en Californie durant sa saison des pluies (décembre, janvier et février). Dans certains cas, les effets étaient à l'opposé de ce qui était attendu.

L'ESSENTIEL

■ On attribue souvent certains événements météorologiques extrêmes au phénomène El Niño ou La Niña.

■ La situation n'est pas aussi simple. Par exemple, le phénomène El Niño de 2015-2016 n'a pas apporté les fortes précipitations attendues en Californie du Sud.

■ L'épisode El Niño de 2015-2016 a été parmi les trois plus puissants du demi-siècle passé. Il a eu une influence planétaire, mais d'autres facteurs, tels que le réchauffement global, ont peut-être aussi joué sur les conditions météorologiques locales.

Un El Niño en formation

Ainsi, quand les météorologues ou climatologues détectent les signes avant-coureurs d'un nouvel épisode El Niño, le défi pour eux est de répondre à plusieurs questions. Cet épisode sera-t-il puissant ? Apportera-t-il l'humidité tant attendue ? Par ailleurs, renforcera-t-il les ouragans dans le Pacifique ? Les réduira-t-il dans l'Atlantique ? Asséchera-t-il l'Australie ? Provoquera-t-il un hiver doux dans le nord-est des États-Unis, comme certains épisodes El Niño l'avaient fait dans le passé ?

Répondre à de telles questions aiderait grandement les agriculteurs, les autorités et le public à se préparer à des conditions climatiques extrêmes. Cependant, comme le démontre le récit du déroulement de l'épisode El Niño le plus récent, la tâche est délicate.

Les premiers signes du développement d'un phénomène El Niño apparaissent sous la surface de l'océan. Sous l'action des alizés, vents qui traversent

ANATOMIE DES PHÉNOMÈNES EL NIÑO ET LA NIÑA

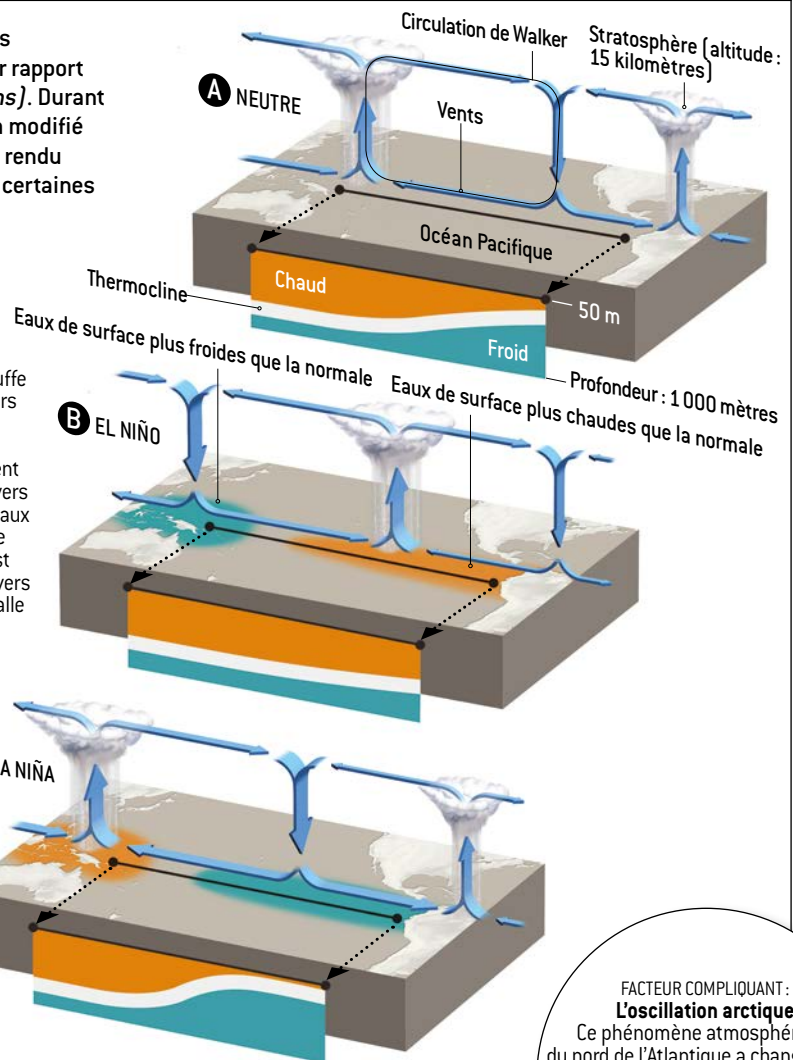
Un épisode climatique El Niño apparaît quand les températures de l'océan Pacifique changent, par rapport à des conditions « neutres » (voir les illustrations). Durant l'hiver 2015-2016, un épisode El Niño puissant a modifié la direction du jet-stream sur les États-Unis et a rendu les précipitations plus ou moins probables dans certaines régions du monde (voir la carte).

El Niño ou La Niña ?

L'eau chaude du Pacifique ouest (A), typiquement, réchauffe l'air, qui s'élève, provoque des précipitations et circule vers l'est quand il atteint la stratosphère. Cet air redescend et circule vers l'ouest, ce qui permet de « piéger » les eaux chaudes qui s'y trouvent. Si les vents de surface faiblissent pendant plusieurs mois, les eaux chaudes se déplacent vers l'est, modifiant la circulation de Walker et poussant des eaux chaudes plus en profondeur, ce qui enclenche un épisode El Niño (B). Si, au contraire, les vents de surface est-ouest se renforcent, encore plus d'eaux chaudes se déplacent vers l'ouest et deviennent plus profondes là aussi, ce qui installe un épisode La Niña (C).

Ce qui s'est passé en 2016

El Niño a apporté de l'humidité en Californie du Nord, mais pas comme attendu en Californie du Sud. Divers facteurs, autres qu'El Niño, ont probablement influé sur le climat global. Ils rendent difficiles les prévisions météorologiques.

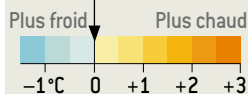


FACTEUR COMPLIQUANT : Le réchauffement climatique

Comme l'atmosphère et les océans se réchauffent globalement, la dynamique d'El Niño et de La Niña pourrait être modifiée, ainsi que l'ampleur avec laquelle ces phénomènes toucheraient le climat local, mais les météorologues ne savent pas encore comment.

Température de surface de la mer (Décembre – Février)

Moyenne saisonnière

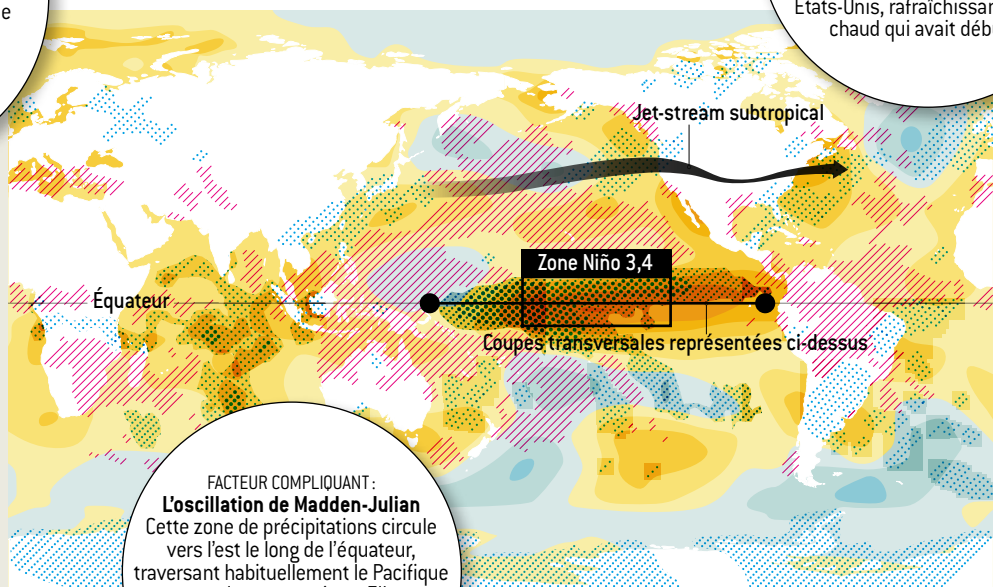


Précipitations (par rapport à la moyenne saisonnière)

Plus sec Plus pluvieux (≥ 4,6 cm)

FACTEUR COMPLIQUANT : L'oscillation arctique

Ce phénomène atmosphérique du nord de l'Atlantique a changé d'état en début d'année 2016, ce qui a permis à l'air froid de l'Arctique de descendre sur le nord-est des États-Unis, rafraîchissant l'hiver chaud qui avait débuté.



**FACTEUR COMPLIQUANT :
L'oscillation de Madden-Julian**
Cette zone de précipitations circule vers l'est le long de l'équateur, traversant habituellement le Pacifique en quelques semaines. Elle a temporairement renforcé puis affaibli l'impact d'El Niño pendant l'hiver 2015-2016.



LES EFFETS D'EL NIÑO ne sont pas toujours ceux que l'on croit. Durant l'hiver 2015-2016, il n'a pas apporté le supplément de pluie espéré en Californie centrale, n'offrant aucun secours face à une sécheresse

régnant depuis plusieurs années (a). En janvier, il a augmenté les risques de chutes de neige dans les États du nord-est et a probablement contribué à la formation du blizzard qui s'est abattu sur Washington (b).

généralement le Pacifique tropical d'est en ouest, l'eau de surface du Pacifique est et central est légèrement plus fraîche que du côté ouest, vers l'Indonésie. Parfois, ces vents faiblissent et des masses d'eau plus chaudes de l'ouest se propagent alors vers l'est le long de l'équateur, vers l'Amérique du Sud, et ce pendant de nombreux mois.

Début 2015, nous avons observé un tel phénomène, avec des températures de l'océan en surface qui étaient plus élevées que la moyenne dans le Pacifique tropical, notamment dans la région notée Niño 3-4 du Pacifique central, qui nous sert d'indicateur principal.

Par ailleurs, El Niño n'est pas un phénomène uniquement océanique : il s'accompagne de changements dans la dynamique atmosphérique. En effet, du fait des gigantesques volumes d'eau mis en jeu, un océan plus chaud de quelques degrés seulement par rapport à la moyenne contient une quantité énorme de chaleur, qui réchauffe l'air au-dessus de l'océan. Durant un épisode El Niño, le réchauffement du Pacifique centre-est modifie la circulation atmosphérique de Walker (*voir l'encadré page 47*). Avec une importante source d'air humide s'élevant désormais plus loin à l'est, les vents de surface, qui soufflent habituellement d'est en ouest, faiblissent, voire s'inversent. Cette réaction de l'atmosphère contribue au maintien d'El Niño et à son renforcement.

En mars 2015, les effets du Pacifique tropical plus chaud étaient perceptibles : la circulation de Walker s'affaiblissait. Et des rafales de vent d'ouest soufflaient sur le Pacifique tropical, encourageant les eaux chaudes de surface à se déplacer vers l'est. Par ailleurs, dans les couches plus profondes de l'océan, la température était plus élevée que d'habitude, ce qui contribuait à augmenter l'interaction avec l'atmosphère. Tous les éléments étaient en place pour un nouvel épisode El Niño et la NOAA a donc émis un avis d'alerte.

À partir des indicateurs de la température de la surface de l'océan et de la réponse atmosphérique, la NOAA avait déterminé, en mai, qu'il y avait 80 % de chances que le phénomène se poursuive jusqu'à la fin de l'année 2015, sachant que c'est en hiver que les effets d'El Niño sur la température et la pluie sont les plus importants. Pour évaluer la puissance d'El Niño, la NOAA utilise la température moyenne sur trois mois des eaux de surface de la région Niño 3-4 et son écart par rapport à la température moyenne sur le long terme. Et tout indiquait que cet épisode serait semblable à d'autres épisodes puissants dans le passé. D'autres observations confirmaient cette hypothèse : la sécheresse et les vagues de chaleur à l'est de l'Australie s'amplifiaient (là-bas l'automne faisait déjà place à l'hiver) ; la saison des cyclones du Pacifique ouest démarrait en fanfare avec sept tempêtes répertoriées en mai, la moyenne étant de deux !

Alors que le mois de juillet commençait, El Niño était bien établi, et les prévisionnistes étaient convaincus qu'il allait devenir très puissant. On s'attendait à ce que l'indice Niño 3-4 atteigne un pic record, comparable à celui des deux épisodes El Niño précédents les plus forts jamais enregistrés, ceux de 1982-1983 et de 1997-1998.

Durant ces deux précédents épisodes, les conditions hivernales avaient apporté sur le sud de la Californie de fortes tempêtes et des pluies abondantes qui ont rempli les bassins – et provoqué des glissements de terrain le long d'une côte détrempée. Les prévisionnistes estimaient à 60 % les chances pour que, au cours de l'hiver 2015-2016, les régions du sud de la Californie ainsi que les États côtiers du golfe du Mexique voient des quantités de pluie situées dans le tiers supérieur des registres historiques. Cette prévision était réalisée en partie en surveillant attentivement plusieurs indicateurs d'El Niño et d'autres phénomènes, puis en les comparant avec les tendances passées.

Un épisode puissant...

En octobre 2015, si El Niño semblait bien parti pour rejoindre les plus importants épisodes enregistrés, nous avons commencé à observer quelque chose d'inattendu. Les vents de surface le long de l'équateur, dans le Pacifique, n'avaient pas faibli autant qu'au cours des derniers

puissants El Niño. En 1997-1998, les vents avaient tellement faibli qu'ils se sont inversés, soufflant d'ouest en est en octobre et novembre, déplaçant encore plus des eaux chaudes du Pacifique ouest lointain dans le Pacifique central et alimentant l'épisode El Niño.

En décembre 2015, l'indice Niño 3-4 a battu le record pour ce mois avec 2,32 °C au-dessus de la moyenne, contre 2,24 °C en décembre 1997; et sur trois mois, d'octobre à décembre 2015, cette anomalie a été de 2,3 °C, première *ex aequo* avec 1997.

...mais peu humide

Nous pouvions donc espérer avoir les mêmes conditions météorologiques en 2015-2016 que pendant les deux forts épisodes précédents, c'est-à-dire d'abondantes pluies sur la Californie du Sud. Mais nous ne maîtrisons jamais tous les paramètres, surtout en météorologie, où la variabilité est permanente. Et nos registres de données illustrent parfaitement cette variabilité. Sur la côte de la Californie du Nord, une année d'un fort El Niño comporte en moyenne près de 40 jours de pluie par hiver, contre environ 26 jours pendant un hiver «non-El Niño». Pourtant, l'hiver de l'année 1965, l'un des six plus puissants El Niño recensés, a compté moins de jours de pluie que la moyenne «non-El Niño».

De la même façon, au cours de l'hiver 2015-2016, l'espoir qu'El Niño puisse sauver les agriculteurs californiens de la sécheresse s'est rapidement évanoui. Les pluies de décembre et de début janvier ont été supérieures à la moyenne en Californie du Nord, mais autour de la moyenne dans la moitié méridionale de l'État.

Quelques tempêtes venant du Pacifique sont finalement arrivées dans les trois derniers jours de janvier. Elles ont provoqué des chutes de neige sur la sierra Nevada. Cependant, comme le souligna Tom Di Liberto, un collègue de la NOAA, un mois humide n'allait pas suffire pour effacer la sécheresse de la Californie. Et il précisa : «Alors que certaines parties intérieures de la Californie et la Californie du Nord ont enregistré des précipitations supérieures à la moyenne, les régions du sud, dont le couloir côtier très peuplé s'étendant de Santa

Barbara à San Diego, ont connu des précipitations inférieures à 75 % de la normale. Des pluies torrentielles devront arriver plus souvent pour faire que cette année revienne à la normale.» Sans parler de combler les déficits de réservoirs et d'aquifères qui se sont accumulés depuis 2011.

Ainsi, un puissant épisode El Niño n'est pas une garantie de précipitations abondantes pour la Californie. Il fait juste pencher la balance en faveur d'un hiver plus humide que la moyenne dans cette région.

Ailleurs, les effets d'El Niño se sont pour la plupart produits comme prévu. Il est tombé beaucoup plus de pluie que d'habitude en Afrique de l'Est durant la petite saison des pluies (d'octobre à décembre). L'Afrique australe a continué d'avoir des conditions sèches. L'Uruguay, le sud du Brésil et le

**Il est impossible
de désigner une tempête,
un coup de froid ou une vague
de chaleur, et d'affirmer :**

**“C'est
El Niño”**

Paraguay ont aussi connu beaucoup de pluie, et le nord de l'Amérique du Sud a été sec.

En Australie, l'impact classique d'El Niño est une sécheresse sur la plus grande partie du continent de juillet à décembre à peu près. Mais en 2015 il n'y a pas eu de déficit de pluviosité marqué, sauf dans certaines parties orientales du pays. Il est possible qu'un océan Indien exceptionnellement chaud ait eu un contre-effet puissant... : il faut garder à l'esprit que le système climatique a de nombreuses composantes, et les impacts attendus d'un El Niño ne sont donc jamais garantis.

Aux États-Unis, le nord-est a connu des températures très douces, comme prévu. Cependant, El Niño n'a pas été la seule cause de cette météo inhabituelle. Un phénomène atmosphérique nommé l'oscillation arctique – incarnée par le «vortex polaire», constitué par les vents qui circulent autour de l'Arctique – était entré dans un état intense. Contrairement à certains hivers récents, où ce vortex était faible et permettait à de l'air froid de déborder sur les États-Unis, il a été puissant ces derniers mois de décembre 2015 et de janvier 2016, ce qui a bloqué l'air très froid au nord et ainsi permis à de l'air chaud venu du sud des États-Unis de remonter vers le nord.

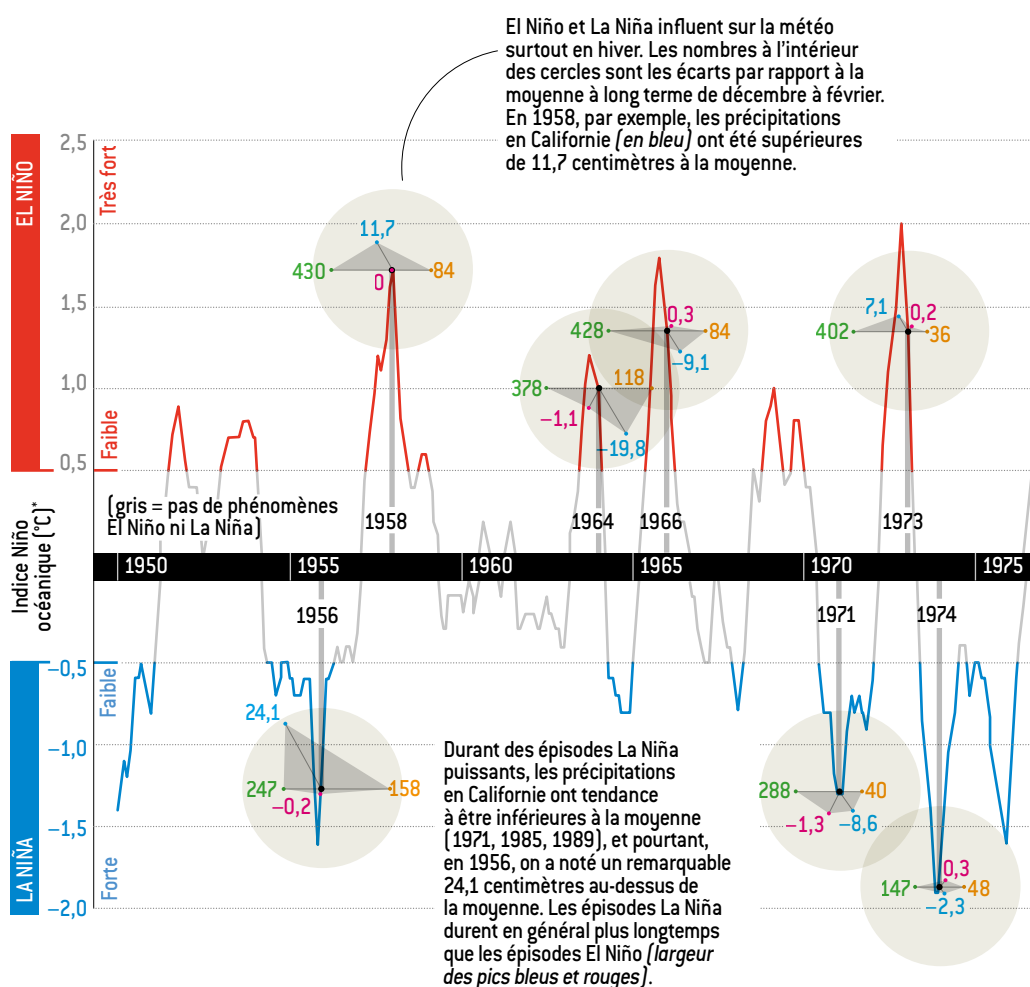
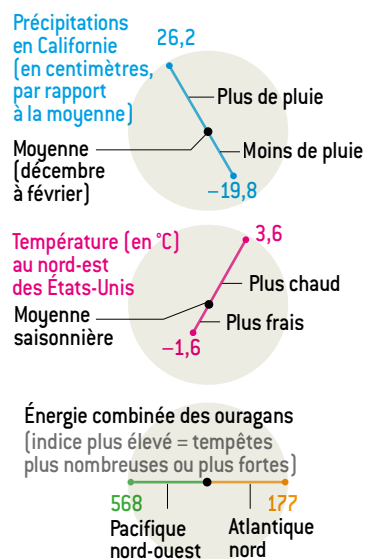
Plusieurs autres phénomènes océaniques et atmosphériques ne relevant pas d'El Niño ont également pu influencer sur la météo dans l'une ou l'autre partie du globe. L'un d'eux est l'oscillation de Madden-Julian (OMJ), une zone de fortes précipitations au niveau de l'équateur et qui traverse le Pacifique d'ouest en est en quelques semaines. Elle peut accroître temporairement les effets d'El Niño, mais peut tout aussi bien les atténuer. Et la question de savoir comment l'OMJ et El Niño interagissent pour se renforcer ou s'affaiblir est encore débattue par les spécialistes.

Il y a ensuite l'oscillation décennale pacifique, une relation entre les températures de surface du Pacifique nord-est et celles du Pacifique nord-ouest qui prévaut souvent pendant quinze ans ou plus avant de basculer dans un état différent. Tous ces phénomènes influent les uns sur les autres. Et, bien sûr, le réchauffement climatique joue aussi probablement sur chacun de ces phénomènes, mais de façon encore non prévisible.

Les très chauds mois de novembre et décembre 2015 qu'a connus l'est de l'Amérique du Nord semblent dus à une combinaison d'El Niño, de l'air froid refoulé près de l'Arctique et d'une oscillation de Madden-Julian très active, auxquels s'ajoute une importante composante qui ne peut pas être expliquée par ces facteurs. En dépit des titres tape-à-l'œil des journaux et des déclarations péremptoires des prévisionnistes météo à la télévision, tous affirmant qu'El Niño était responsable

EL NIÑO EST-IL RESPONSABLE DE LA PLUIE ET DU BEAU TEMPS ?

Parfois, les phénomènes El Niño (en rouge) et La Niña (en bleu) n'engendrent pas la météo extrême à laquelle on s'attendait, tels des hivers pluvieux en Californie, même si certains météorologues et médias sont tentés de rendre ces épisodes climatiques responsables de tout.



de ce temps extrême, il est impossible de désigner une tempête, un coup de froid ou une vague de chaleur, et d'affirmer: «c'est El Niño.» El Niño influe sur l'état climatique «de fond», et donc une série d'événements climatiques peut être attribuée partiellement à El Niño, mais pas un incident unique.

Un facteur parmi d'autres

Après le Noël chaud sur la façade atlantique des États-Unis, la neige s'est mise à tomber abondamment sur la région – un temps bizarre, une fois de plus. Le grand public était mûr pour un battage médiatique autour d'El Niño. Mais, à nouveau, attribuer une tempête isolée à une seule influence climatique, en particulier une tempête à la dynamique si complexe, n'a tout

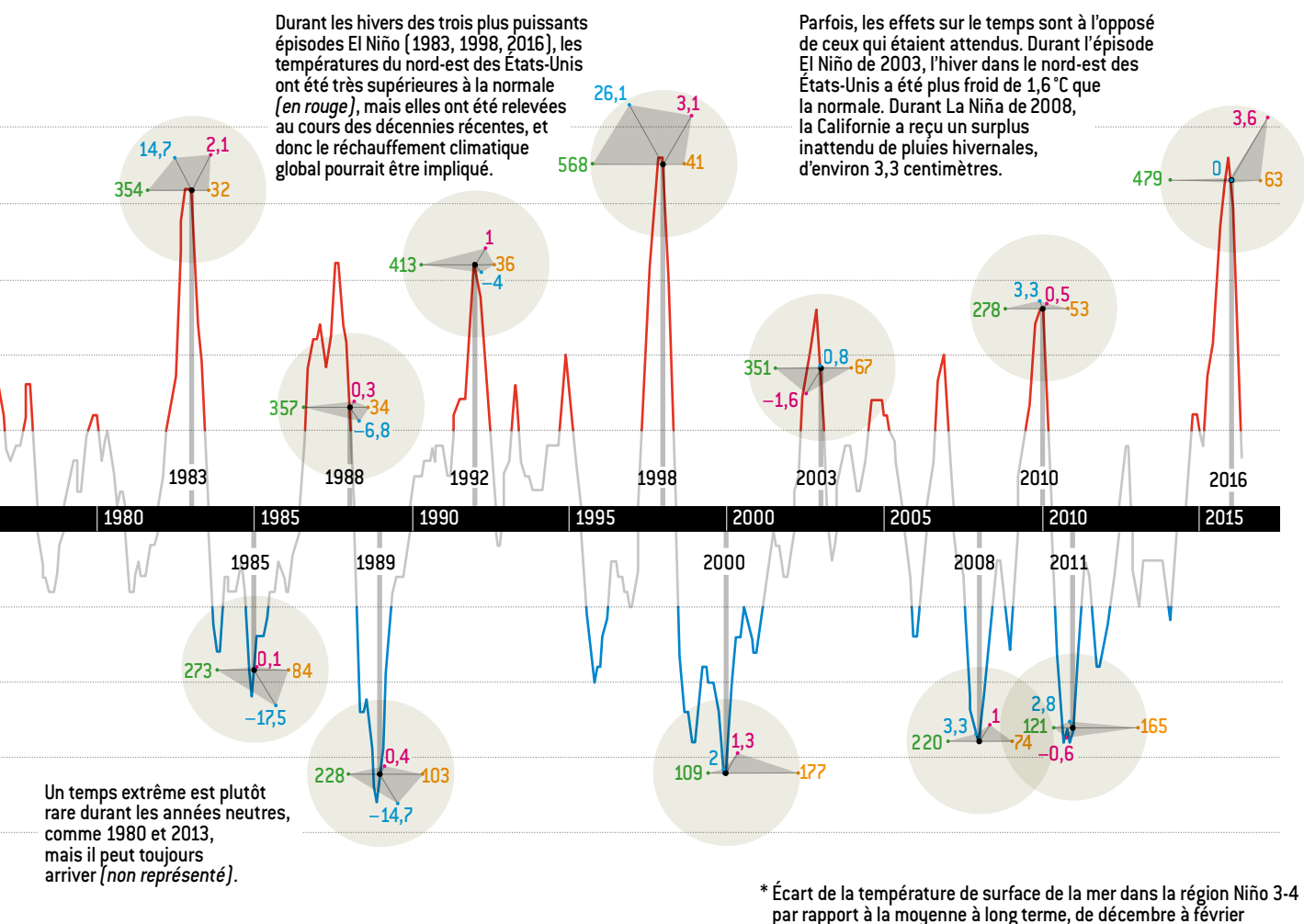
simplement pas de sens. Bien qu'au moins six des dix plus fortes tempêtes de neige se soient produites pendant des épisodes El Niño, le blizzard de 2016 ne s'explique que par l'association de plusieurs facteurs, comprenant une chute rapide des températures, des eaux de l'Atlantique chaudes pour alimenter la tempête en humidité et un front météorologique puissant.

L'empreinte d'El Niño était peut-être présente dans certains de ces facteurs, mais il est très difficile de la distinguer. En particulier, au cours des épisodes El Niño, le jet-stream (un courant atmosphérique de haute altitude) tend à faire remonter vers le nord des orages chargés d'eau du golfe du Mexique. Et dans certains cas, la trajectoire du jet-stream dévie au point de ramener les orages jusqu'à Washington.

En mars 2016, nous pouvions enfin faire le point sur cet épisode El Niño. Quel en a

été le bilan? Nous disposons d'un ensemble de données complet pour 2015-2016, que nous pouvions comparer avec les données concernant les deux autres puissants épisodes El Niño de 1982-1983 et de 1997-1998. Il était sans aucun doute l'un des trois plus forts depuis 1950, mais il n'est pas évident de les classer plus précisément (même s'il a été annoncé que ce dernier épisode était le plus important de tous): cela dépend des indicateurs considérés.

L'indice Niño 3-4, l'écart par rapport à la température moyenne sur trois mois dans la région du Pacifique Niño 3-4, était de 2,3 °C pour novembre 2015 à janvier 2016, à égalité avec celui de 1997-1998. Si nous regardons d'autres zones: le Pacifique est a été plus chaud en 1997-1998 et le Pacifique ouest a été plus chaud en 2015-2016. Et la réponse atmosphérique du système Enso a, dans l'ensemble, été plus forte



durant l'épisode 1997-1998 que durant l'épisode 2015-2016.

En termes de puissance, nous avons eu l'un des plus forts épisodes El Niño enregistrés, comparable à au moins deux précédents épisodes. En revanche, les conséquences météorologiques dans les trois cas présentaient certaines différences notables (voir l'encadré ci-dessus). Notamment, en 2015-2016, c'est la Californie du Nord, et non celle du Sud, qui a accaparé la plus grande partie de la pluie de cet État.

Déterminer pourquoi ce schéma a différé de celui des «hivers El Niño» passés est une tâche qui va occuper les climatologues pendant les années à venir. Comme nous l'avons souligné, il existe d'autres phénomènes actifs dans l'océan Indien, dans le Pacifique ou au niveau du cercle arctique, dont les interactions sont complexes. À cela il faut ajouter le fait que les océans du

monde sont aujourd'hui beaucoup plus chauds que durant les deux puissants El Niño précédents. Par ailleurs, des effets chaotiques à court terme sont toujours présents dans les systèmes climatiques, ce qui explique que même si un épisode El Niño semble identique à un autre, ses effets sur la météo ne seront pas exactement les mêmes.

La Niña entre en scène

Une année après que la NOAA a annoncé la formation de l'épisode El Niño 2015-2016, celui-ci s'est terminé. Les anomalies de la température de surface de la mer dans la plus grande partie du Pacifique équatorial ont diminué en 2016, et la grande quantité d'eau sous la surface qui était plus chaude que la moyenne s'est réduite.

En mars 2016, il semblait probable que les conditions deviendraient «neutres» au

début de l'été, et, avec 50 % de chances, que La Niña s'installerait à l'automne. Un épisode La Niña a en effet suivi six des dix El Niño modérés et intenses depuis 1950, mais cette taille d'échantillon est trop petite pour une prévision sûre. Par ailleurs, la météo sur l'Amérique du Nord au cours de cette saison de transition est très variable et complique le travail des prévisionnistes. Néanmoins, la plupart des modèles s'accordaient sur le fait que La Niña allait se développer à l'automne 2016.

Les ordinateurs, traitant à grande vitesse les données les plus récentes, ont estimé que les températures de surface de l'océan continueraient de chuter, franchissant potentiellement le seuil de La Niña (0,5 °C au-dessous de la moyenne). En outre, des eaux plus froides que la moyenne s'accumulaient déjà sous la

L'impact du réchauffement climatique sur El Niño

Le réchauffement de la planète engendre une réorganisation globale des circulations océaniques et atmosphériques. Comment évaluer les conséquences de cette évolution sur les effets d'El Niño et de La Niña ?

Avec le changement climatique, chaque région du globe évolue de façon spécifique. Par exemple, dans l'océan Pacifique, la région où naissent El Niño et La Niña, les modèles climatiques prévoient que les eaux s'échaufferont plus à l'équateur qu'aux tropiques.

Le changement climatique agit comme un nouvel élément perturbateur du climat local, qui va éventuellement contribuer à déplacer ou moduler les effets typiques d'El Niño. Par conséquent, même s'il était possible d'affirmer avec certitude que les épisodes El Niño seront plus fréquents à l'avenir, cela ne serait pas suffisant pour en dire

de même des épisodes pluvieux en Californie, des hivers chauds à Washington ou des sécheresses en Afrique du Sud.

À l'heure actuelle, nous ne disposons pas du recul nécessaire pour déceler les effets possibles du changement climatique sur El Niño.

Explorer le passé peut alors nous aider à comprendre comment un changement global de climat affecte El Niño et La Niña. Le programme de recherche *El Paso*, qui regroupait de nombreux laboratoires français entre 2011 et 2015, a rassemblé et synthétisé le maximum de données possible sur des époques où le climat était

différent de celui que nous connaissons aujourd'hui. Le passé d'El Niño se lit dans des squelettes de coraux fossiles, dans des sédiments ou encore dans des simulations numériques destinées à reproduire les conditions passées. L'analyse de ces données suggère que les effets caractéristiques d'El Niño, en une région donnée, peuvent varier selon les époques.

Ainsi, dans les îles du Pacifique ouest, au Vanuatu ou en Nouvelle-Calédonie, El Niño se manifeste aujourd'hui typiquement par une diminution des pluies et par leur déplacement vers le nord. Or il y a 21 000 ans, par exemple, au dernier maximum glaciaire, les océans étaient plus froids, le niveau de la mer plus bas et les pluies tropicales moins intenses en moyenne. Il est possible que la zone de pluies du Pacifique

ouest ait été plus au nord qu'aujourd'hui. Il est alors peu probable qu'avec des conditions si différentes, l'impact d'El Niño au Vanuatu ait pu rester identique. L'analyse d'un corail fossile de cette époque semble même indiquer que l'impact était inversé par rapport à aujourd'hui, même si rien n'est sûr.

Ces subtilités dans les variations des impacts locaux d'El Niño sont cruciales pour les nombreuses populations locales. Bien qu'El Niño soit attendu avec espoir en Californie, il est très redouté dans d'autres régions plus vulnérables, où il apporte inondations et maladies, ou sécheresses et disette. C'est pourquoi il s'agit d'un axe de recherche prioritaire à l'heure actuelle.

— Marion Saint-Lu
Université d'Exeter, Royaume-Uni

■ SUR LE WEB

Site d'information de la NOAA sur l'ENSO : www.climate.gov/enso

Blog de la NOAA sur l'ENSO : www.climate.gov/news-features/departments/enso-blog

■ BIBLIOGRAPHIE

M. Saint-Lu et J. Leloup, *Petit précis de théorie pour comprendre El Niño*, *La Météorologie*, n° 95, pp. 30-38, novembre 2016.

J. Masters, *Le jet-stream polaire se dérègle-t-il ?*, *Pour la Science*, n° 449, mars 2015.

M. Dettinger et L. Ingram, *Les rivières atmosphériques*, *Pour la Science*, n° 431, septembre 2013.

surface à travers tout le Pacifique, le long de l'équateur. Il est intéressant de noter que l'eau sous la surface dans la région Niño 3-4 a atteint des températures froides records en 1998 – immédiatement après le puissant El Niño de 1997-1998. Et effectivement, à partir de novembre 2016, un épisode La Niña a formellement été annoncé par la NOAA, mais son intensité était relativement faible.

Aux États-Unis, les effets de La Niña sont à peu près l'inverse de ceux d'El Niño. La Niña modifie différemment les vents d'ouest et le jet-stream. Notamment, elle a tendance à créer un environnement propice au développement d'ouragans dans l'Atlantique, et les hivers La Niña en Californie sont souvent secs.

Le réchauffement brouille les pistes

Les chercheurs ne savent pas encore clairement comment le réchauffement climatique global va interagir avec le cycle El Niño-La Niña. Certains travaux suggèrent que des océans plus chauds entraîneront des épisodes El Niño plus

puissants, mais, selon d'autres études, le réchauffement climatique global pourrait au contraire les atténuer. Dans un système global aussi complexe où interviennent de vastes phénomènes atmosphériques et océaniques qui passent naturellement d'un état à un autre, telle l'oscillation décennale pacifique, comprendre comment El Niño sera affecté par le réchauffement global est un défi.

Ce que nous pouvons tenir pour quasi sûr, c'est que des épisodes El Niño et La Niña continueront à apparaître, certains plus importants que les autres. Les études de coraux fossilisés ont montré que ce cycle climatique existe depuis des milliers d'années.

En dépit de sa mauvaise réputation, El Niño ne provoque habituellement pas plus de désastres climatiques dans le monde que les autres années, mais ces désastres sont plus prévisibles. Si nous comprenons mieux la dynamique du système climatique et si les autorités tiennent compte des prévisions saisonnières liées à El Niño, nous pourrions mieux anticiper les effets du phénomène sur le climat global ainsi que ses impacts sur les populations humaines. ■

EXPOSITION

6.12.16 > 27.08.17

PALAIS-DECOUVERTE.FR



80 ans
Palais



M Champs-Élysées Clemenceau M Franklin Roosevelt

#FaitesVosJeux

Exposition conçue avec le concours du

mathematikum
Mathematik zum Anfassen.

En partenariat avec

SCIENCE

JUNIOR

SCIENCE&VIE

Syfy

FUTURA

OUI FM

l'éléphant

EXPOSITION PALAIS

Les bienfaits des toxines végétales sur le cerveau

Mark Mattson

En provoquant un stress au sein de nos neurones, les toxines issues des plantes que nous consommons préparent notre cerveau à se défendre contre des agressions plus importantes.

Pourquoi consommer des fruits et légumes est-il bon pour la santé ? À cette question, la réponse de nombre de personnes tient en un mot : antioxydants. Et elle paraît plutôt logique, quand on sait que beaucoup de maladies telles que le cancer, le diabète et les maladies cardiovasculaires sont liées à des dégâts causés aux cellules par les radicaux libres, que les antioxydants neutralisent.

Ces radicaux libres, des atomes ou des molécules instables à cause de leur nombre impair d'électrons, tentent continuellement de céder ou de capter un électron aux molécules qui les entourent. Ils propagent ainsi un phénomène dit de stress oxydatif dans l'organisme, que les antioxydants combattent. On sait aussi que les personnes qui consomment régulièrement des fruits, légumes et autres produits issus de plantes réputés pour être à haute teneur en antioxydants ont tendance à avoir un cerveau en meilleure forme et sont moins prédisposées à souffrir de maladies neurodégénératives. Mais les choses ne sont pas aussi simples.

Lorsque l'on isole des antioxydants, tels que les vitamines C, E et A, et que

L'ESSENTIEL

- Pour survivre, les plantes ont développé au cours de l'évolution la production de toxines, qui éloignent les insectes et les animaux.
- En mangeant, nous consommons ces toxines en petites quantités. L'exposition à ces substances provoque un léger stress dans les cellules.
- La réponse de l'organisme à ces stress a certains bénéfices sur la santé, dont la protection contre la dégénérescence des neurones, qui advient dans les maladies d'Alzheimer et de Parkinson.

L'on évalue leur effet chez l'animal et chez l'homme, on n'observe aucun bénéfice sur la prévention de maladies ou leur atténuation. Quelle est alors la recette des fruits et légumes pour nous maintenir en bonne santé ?

Ce qui ne nous tue pas nous rend plus fort

La réponse qui émerge peu à peu est liée aux stratégies de défense que les plantes ont développées au cours de l'évolution. Les végétaux produisent des molécules au goût amer qui agissent comme répulsif naturel et les protègent ainsi des insectes et autres animaux qui tentent de les manger. Lorsque nous consommons des aliments issus des plantes, nous ingérons ces molécules en petites quantités. Elles provoquent un léger stress au sein des cellules de l'organisme – le même qui se produit lorsque nous jeûnons ou pratiquons une activité physique. Ce stress modéré ne tue pas les cellules, bien au contraire : il les rend plus fortes ! La capacité des cellules à s'adapter à un stress plus important, tel qu'un stress