



Revue Asiatique de Biologie

8(2) : 1-24, 2019 ; Article n° AJOB.49509

ISSN : 2456-7124

Rôle des cendres volantes de charbon en aérosols dans le déséquilibre planctonique mondial : cas de la crise des algues toxiques en Floride

Mark Whiteside¹ et J. Marvin Herndon^{2*}

Département de la Santé de Floride, comté de Monroe, 1100 Simonton Street, Key West, FL 33040, États-Unis.
Transdyne Corporation, 11044 Red Rock Drive, San Diego, CA 92131, États-Unis.

Contributions des auteurs

Ce travail est le fruit d'un effort conjoint entre les auteurs et s'inscrit dans le cadre d'une collaboration continue visant à fournir des informations et des preuves scientifiques, médicales et de santé publique sur les cendres volantes de charbon aérosolisées, notamment leur utilisation dans le cadre d'activités de géo-ingénierie secrètes quasi quotidiennes et quasi mondiales. L'auteur MW était principalement responsable des aspects médicaux et de santé publique. L'auteur JMH était principalement responsable des aspects géophysiques et minéralogiques. Les deux auteurs ont lu et approuvé le manuscrit final.

Informations sur l'article

DOI : 10.9734/AJOB/2019/v8i230056

Editeurs :

1) Dr Emmanuel Ikechukwu Nnamonu, Maître de conférences, Département de biologie, Collège fédéral d'éducation, Eha-Amufu, Nigéria.

Relecteurs :

(1) Hiren B. Soni, Institut des sciences et technologies pour les études et la recherche avancées (ISTAR), Inde.

(2) Nádia Hortense Torres, Université de Tiradentes, Brésil.

(3) Antipas T. S. Massawe, Université de Dar es Salaam, Tanzanie.

(4) Bharat Raj Singh, Université technique Dr A. P. J. Abdul Kalam, Inde.

(5) Ionac Nicoleta, Université de Bucarest, Roumanie.

Historique complet de l'évaluation par les pairs : <http://www.sdiarticle3.com/review-history/49509>

Article de synthèse

Reçu le 25 mars 2019

Accepté le 10 juin 2019

Publié le 19 juin 2019

RÉSUMÉ

Le terme « marée rouge » est utilisé en Floride (États-Unis) et ailleurs pour décrire un type de prolifération d'algues marines nuisibles (AMN) qui se développe de manière incontrôlée et produit des neurotoxines qui nuisent aux humains, aux oiseaux, aux poissons, aux crustacés et aux mammifères marins. Les AMN sont de plus en plus abondantes, étendues, proches des côtes et de

plus en plus durables. Notre objectif est d'examiner les effets des multiples composants des cendres volantes de charbon aérosolisées sur l'augmentation de la fréquence des AMN. Les polluants aérosolisés de cendres volantes de charbon (CVC) provenant des émissions non séquestrées des centrales électriques au charbon et des opérations de géo-ingénierie particulaire troposphérique non divulguées, bien que « cachées à la vue de tous », infligent des dommages irréparables aux masses d'eau de surface du monde et causent de graves dommages à la santé humaine (notamment cancer du poumon, maladies respiratoires et neurodégénératives) et à l'environnement (notamment extinction massive d'insectes, d'oiseaux et d'arbres). Le cauchemar toxique croissant des marées rouges et des algues bleu-vert en Floride est un microcosme d'une activité similaire à l'échelle mondiale. Le dépôt atmosphérique de particules d'aérosol, et plus particulièrement de fer biodisponible, a radicalement modifié l'équilibre de la communauté planctonique mondiale, favorisant la prolifération d'algues nuisibles et de cyanobactéries dans les eaux douces et salées. Les projets de géo-ingénierie visant à fertiliser les océans avec du fer ne feraient qu'aggraver une situation déjà préoccupante. D'après les données présentées ici, la propagation mondiale des proliférations d'algues nuisibles ne pourra être contenue qu'en réduisant rapidement la pollution atmosphérique aux particules, grâce à la mise en œuvre de dispositifs de piégeage industriel universels et à l'arrêt immédiat des aérosols particuliers pulvérisés. Les mesures correctives dépendent non seulement de la coopération internationale, mais aussi de la fin de l'omerta mortelle qui règne au sein des gouvernements, du monde universitaire et des médias sur la géo-ingénierie des aérosols troposphériques. Les opérations de contrôle météorologique, d'intervention climatique et de géo-ingénierie menées de longue date menacent non seulement l'humanité, mais aussi l'ensemble du réseau de la vie sur Terre.

Mots-clés : *Karenia brevis*, particules d'aérosols, proliférations d'algues nuisibles, marée rouge, algues bleu-vert, cendres volantes de charbon, pollution particulaire, géo-ingénierie

1. INTRODUCTION

Les marées rouges ont été un véritable fléau en 2017-2018, colorant l'eau, fermant les plages, créant des odeurs nauséabondes, tuant d'innombrables poissons et provoquant la mort d'oiseaux et de mammifères marins. Le terme « marée rouge » désigne un type de prolifération d'algues marines nuisibles (AMN) qui se développe de manière incontrôlée et peut avoir des effets toxiques sur les humains, les oiseaux, les poissons, les crustacés et les mammifères marins [1] (Figure 1). En Floride (États-Unis), les marées rouges sont devenues un véritable cauchemar toxique pour l'État, générant des alertes rouges parmi les pêcheurs, les résidents et les propriétaires de propriétés côtières, l'industrie touristique et les autorités sanitaires [2].

Les marées rouges en Floride sont causées par le dinoflagellé toxique *Karenia brevis*, anciennement *Gymnodinium brevis*. Les marées rouges sont observées en Floride depuis les années 1800, mais elles se sont maintenant propagées aux deux côtes de Floride, au Mexique et au sud-est des États-Unis [1]. Les floraisons de *Karenia brevis* se sont avérées plusieurs fois plus abondantes, étendues, plus proches des côtes et plus longues en Floride entre 1994 et 2012 qu'entre 1954 et 1963 [3].

Les dinoflagellés des marées rouges apparentés sont à l'origine de floraisons toxiques dans le monde entier, notamment les marées rouges et d'autres espèces toxiques qui se propagent dans l'Arctique [4]. *Karenia brevis* produit des brévétotoxines, des neurotoxines qui ouvrent les canaux sodiques des membranes des cellules nerveuses, provoquant ainsi la dépolarisation des cellules. Les poissons, les oiseaux et les mammifères sont tous sensibles à ces neurotoxines. Les effets des

marées rouges sur la santé humaine résultent de l'ingestion (intoxication neurotoxique par les mollusques) et de l'inhalation d'aérosols de brevéttoxines [5].

K. brevis est capable d'utiliser des nutriments organiques et inorganiques. Une controverse persiste concernant les sources et les facteurs contribuant aux proliférations de *K. brevis*. L'importance relative des nutriments provenant des rivières côtières, des sources diffuses et des dépôts atmosphériques dans ces proliférations fait actuellement l'objet de recherches approfondies [6].

Historiquement, les proliférations périodiques de marées rouges étaient stimulées par la « poussière africaine » contenant du fer [7-9]. Nous examinons ici les preuves démontrant que la croissance exponentielle de la pollution atmosphérique, notamment des cendres volantes de charbon ferreuses (CVC) rejetées dans l'atmosphère par les centrales au charbon et pulvérisées par avion dans l'atmosphère pour la géo-ingénierie de la Terre [10-14], est le principal facteur de la croissance explosive des marées rouges et autres AMN en Floride et ailleurs.

2. CROISSANCE EXPLOSIVE DE LA POLLUTION PARTICULAIRE

Depuis trois décennies, la communauté scientifique, sans base scientifique approfondie, a promu l'idée que le dioxyde de carbone (CO₂) d'origine anthropique et d'autres gaz à effet de serre seraient à l'origine du réchauffement climatique. De plus, et à l'inverse, les données des carottes de glace de l'Antarctique [15-17] montrent que les hausses de température précèdent généralement celles du CO₂, et non l'inverse (Figure 2).

Pour toutes les plages de salinité et de température observées dans l'eau océanique, les augmentations de température entraînent toujours une diminution de la solubilité du CO₂ [11]. Avec l'augmentation de la température de l'eau océanique, non seulement l'océan absorbe moins de CO₂, mais une quantité supplémentaire de CO₂ est expulsée de l'océan vers l'atmosphère par une solubilité réduite du CO₂. Ce comportement indiscutable de la solubilité du CO₂ dans l'eau océanique constitue un argument de poids contre l'affirmation selon laquelle le réchauffement climatique est causé par le CO₂ atmosphérique [11].



Figure 1. Floraison de *Karenia brevis* et de *Trichodesmium erythraeum*, comté de Lee, Floride (États-Unis), 22 octobre 2007. Photo reproduite avec l'aimable autorisation de la Florida Fish and Wildlife Conservation Commission.

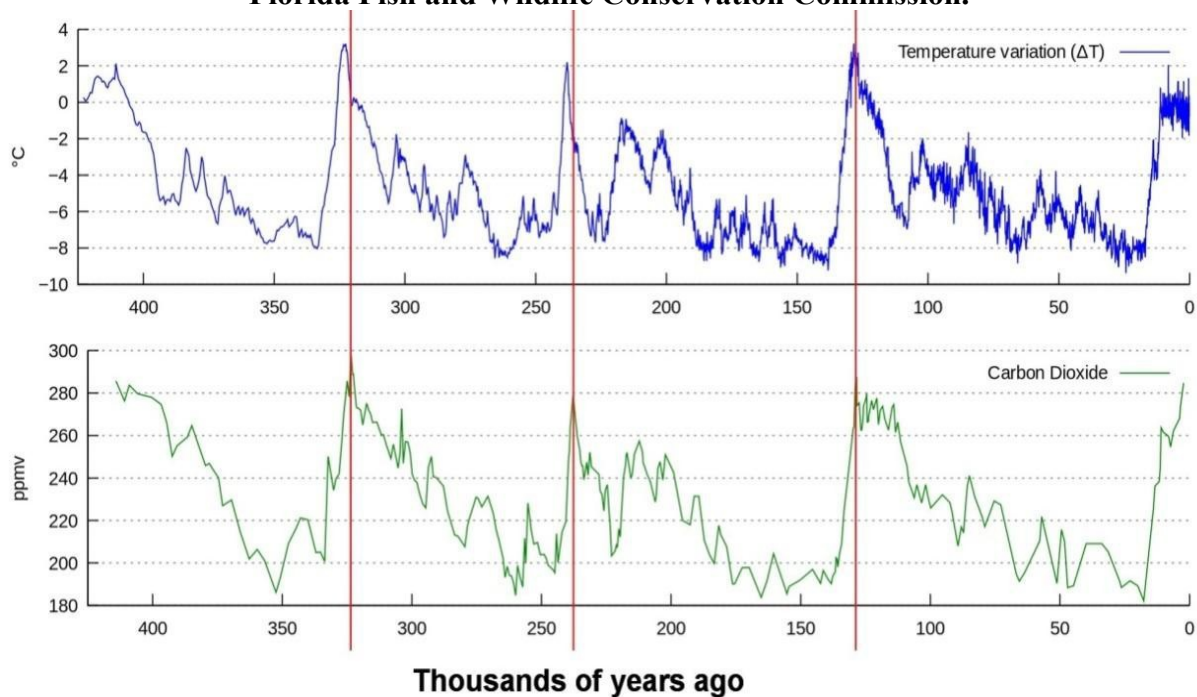


Figure 2. Tiré de [11]. Données de température et de dioxyde de carbone issues de la carotte de glace de Vostok [15-17]. Il est à noter que la température augmente avant le dioxyde de carbone, et non l'inverse. Cette figure démontre de manière convaincante que la hausse de température entraîne une augmentation ultérieure de la teneur en dioxyde de carbone atmosphérique, en contradiction flagrante avec l'hypothèse, fondée sur les modèles du GIEC, selon laquelle le CO₂ est responsable de la hausse des températures mondiales. L'augmentation ou la baisse du CO₂ suit l'augmentation ou la baisse de la chaleur variable de la Terre, absorbée par le haut et produite par le bas.

Si, hypothétiquement (et à tort), le CO₂ atmosphérique était la principale cause du réchauffement climatique, le réchauffement des océans se traduirait par une libération accrue de CO₂ dans l'atmosphère, provoquant un réchauffement climatique accru et un réchauffement supplémentaire des océans, libérant encore plus de CO₂ dans l'atmosphère, provoquant encore plus de réchauffement des océans et de libération de CO₂, et ainsi de suite, dans une réaction en chaîne sans fin qui ne se serait produite qu'une seule fois dans le passé géologique, avec des conséquences catastrophiques pour la quasi-totalité des biotes, à l'exception peut-être de certaines espèces de bactéries. Au contraire, les données paléoclimatiques montrent un cycle différent, dans lequel la chaleur planétaire augmente et diminue, suivie d'une augmentation et d'une diminution du CO₂. Si le CO₂ était le moteur du réchauffement climatique et du réchauffement des océans, la prolifération des plantes et les épisodes glaciaires ne feraient que ralentir l'inévitable réchauffement climatique et la destruction planétaire qui en découle [11].

Dans une série de publications parues en septembre 2018, des preuves ont été présentées pour étayer l'affirmation selon laquelle le réchauffement climatique est principalement causé par la pollution particulaire, et non par le CO₂ [10-14]. La communauté scientifique du climat a non seulement omis de reconnaître la pollution particulaire comme le principal facteur du réchauffement climatique, mais a également prétendu à tort qu'elle refroidissait la Terre et compensait ainsi le réchauffement climatique présumé causé par le CO₂ [18].

Le physicien de l'Université Harvard, Bernard Gottschalk, s'est inspiré d'une image de la une du New York Times du 19 janvier 2017, montrant une « bosse » coïncidant avec la Seconde Guerre mondiale dans un profil thermique des températures relatives de la Terre au fil du temps. Grâce à des techniques sophistiquées d'ajustement de courbe, il a démontré que la « bosse » était une caractéristique robuste dans huit ensembles de données de la NOAA, quatre terrestres et quatre océaniques, et a conclu que le pic thermique « est une conséquence de l'activité humaine pendant la Seconde Guerre mondiale » [19,20].

Inspiré par les travaux de Gottschalk, l'un de nous (JMH) a démontré que le pic de la Seconde Guerre mondiale ne pouvait pas être dû au CO₂, dont la durée de vie dans l'atmosphère est de plusieurs décennies [21] et dont les données des carottes de glace de l'Antarctique ont montré qu'il était constant entre 1936 et 1952 [22]. En revanche, les particules d'aérosols générées par la guerre semblent avoir contribué à la production du pic thermique observé pendant la Seconde Guerre mondiale [10], ce qui est compréhensible puisque les particules d'aérosols produites par la guerre retombaient au sol en quelques jours, voire quelques semaines, tout comme les particules de pollution troposphérique [23].

L'idée que la pollution particulaire est la principale cause du réchauffement climatique a été d'abord étayée par la démonstration que les indicateurs de la pollution particulaire après la Seconde Guerre mondiale suivaient bien l'augmentation du réchauffement climatique [10] (Figure 3). Plus tard, lors du passage du panache volcanique du mont Saint Helens, les températures maximales diurnes ont diminué et les températures minimales nocturnes ont augmenté, indiquant que le réchauffement particulaire de l'atmosphère réduisait l'efficacité des pertes de chaleur convectives atmosphériques à la surface de la Terre [13,14].

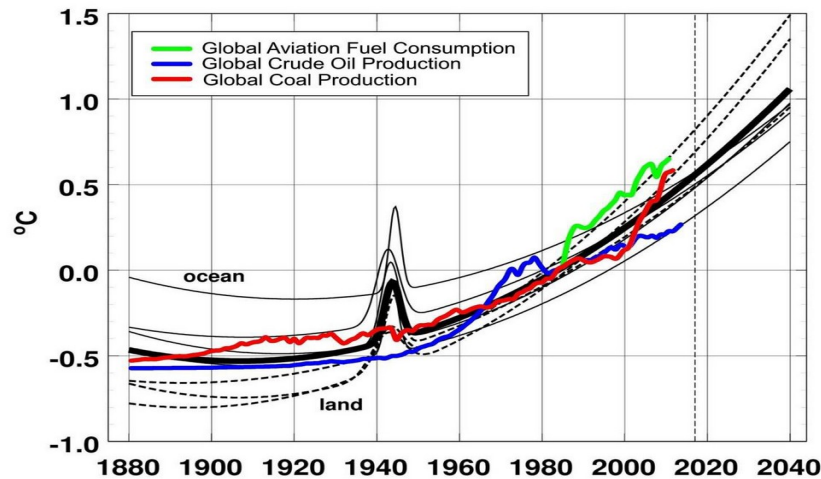


Figure 3. Copie des courbes ajustées de Gottschalk pour huit ensembles de données de la NOAA présentant des profils de température relative au fil du temps [19], auxquelles sont ajoutées des indicateurs de la pollution particulaire. Ligne pointillée : terre ; ligne claire : océan ; ligne épaisse : moyenne pondérée. Tiré de [10].

La croissance industrielle accélérée après la Seconde Guerre mondiale, d'abord en Europe et au Japon, puis en Chine, en Inde et dans le reste de l'Asie, a considérablement accru la pollution mondiale aux particules en aérosol, ainsi que le réchauffement climatique concomitant [24]. Actuellement, la principale source de pollution particulaire industrielle est constituée par les cendres volantes de charbon (CVC), rejetées sans filtration dans l'atmosphère par les centrales au charbon en Inde et en Chine [25,26]. Il existe cependant une autre contamination particulaire par les CVC, plus répandue, dissimulée et délibérée, visant à la géo-ingénierie de la Terre, justifiée à tort en partie par la fausse croyance que les particules de pollution refroidissent la Terre [14].

3. POLLUTION DÉLIBÉRÉE PAR LA GÉO-INGÉNIERIE

La vie est possible grâce aux multiples interactions entre les créatures biologiques et aux processus physiques naturels, variables et complexes, de la Terre. Par conséquent, personne n'a la capacité de géo-ingénierier notre planète, dont nous dépendons pour un environnement sain, sans provoquer des ravages massifs et irréversibles. Pourtant, la géo-ingénierie se déroule quasi quotidiennement et à l'échelle quasi mondiale, avec des conséquences dévastatrices. L'une des conséquences néfastes, comme le montre cette étude, est la perturbation de l'équilibre naturel des systèmes aquatiques, favorisant les algues marines nuisibles (AMN) au détriment du « bon phytoplancton ».

La figure 4 montre les traînées de particules polluantes déposées par les avions dans le ciel au-dessus du Centre spatial Kennedy en Floride. Ce type de pollution particulaire aérienne troposphérique, délibérément placée, est désormais monnaie courante en Amérique du Nord, en Europe et ailleurs.

En quelques minutes à quelques heures, les traînées s'étalent, ressemblant temporairement à des cirrus, avant de s'étendre davantage pour former une brume blanche dans le ciel [27]. Ces particules

fines se mélangent à l'air que nous respirons et le contaminent avant de se déposer sur la Terre, empoisonnant lentement le sol et les plans d'eau [28].



Figure 4. Vue extérieure du Centre de contrôle de lancement de la NASA au Centre spatial Kennedy, à Cap Canaveral, sur l'île Merritt, en Floride, sur un ciel chargé de traînées de particules pulvérisées par avion par la géo-ingénierie.

Les investigations scientifiques médico-légales sur les conséquences de ces épandages aériens non divulgués confirment que leur principal composant aérosolisé est la cendre volante de charbon (CVC), un déchet des centrales thermiques au charbon considéré comme trop toxique pour être rejeté dans les cheminées des pays occidentaux [27,29].

Lors de la combustion industrielle du charbon, les cendres lourdes se déposent, tandis que les cendres volantes de charbon (CVC) se forment dans les gaz au-dessus du brûleur et sortiraient des cheminées si elles n'étaient pas piégées et collectées comme l'exigent les pays occidentaux [30]. Les cendres volantes de charbon sont l'un des déchets les plus abondants au monde, et leur élimination est problématique, bien qu'une part importante soit « recyclée » en produits tels que les remblais, le béton, les additifs pour sols et les engrais [31,32].

Les principaux éléments des CVC sont les oxydes de silicium (Si), d'aluminium (Al), de fer (Fe) et de calcium (Ca), ainsi que des quantités plus faibles de magnésium (Mg), de soufre (S), de sodium (Na), de chlore (Cl) et de potassium (K). Les nombreux oligo-éléments présents dans les CVC comprennent l'arsenic (As), le baryum (Ba), le béryllium (Be), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le plomb (Pb), le manganèse (Mn), le mercure (Hg), le nickel (Ni), le phosphore (P), le sélénium (Se), le strontium (Sr), le thallium (Tl), le titane (Ti), le vanadium (V) et le zinc (Zn) [33], ainsi que les éléments radioactifs uranium (U), thorium (Th) et leurs produits de filiation [34]. Les concentrations de ces oligo-éléments dans les CVC sont généralement supérieures à celles trouvées dans la croûte terrestre, le sol, ou même le charbon solide [35].

Les cendres volantes de charbon sont constituées de particules formées par le refroidissement de

gouttelettes de matière fondue contenues dans les gaz d'échappement sortant du four de combustion, produisant la morphologie sphérique caractéristique des particules de CVC par la tension superficielle du métal fondu. Les éléments les plus volatils, qui se condensent en dernier, sont plus fortement enrichis à la surface des particules les plus fines [35].

4. CONSÉQUENCES NÉFASTES SUR LA SANTÉ HUMAINE ET L'ENVIRONNEMENT

Les particules fines de pollution pénètrent profondément dans les poumons et la circulation systémique et contribuent aux accidents vasculaires cérébraux, aux maladies cardiaques, au cancer du poumon, à la BPCO (bronchopneumopathie chronique obstructive), aux infections respiratoires et à l'asthme [36]. Aux États-Unis, l'exposition cumulée à la pollution particulaire est associée au cancer du poumon toutes causes confondues et à la mortalité cardiopulmonaire [37]. La combustion excessive ou insuffisante de combustibles fossiles est la principale source de pollution atmosphérique particulaire à l'échelle mondiale [38]. La pollution atmosphérique est un facteur majeur d'accident vasculaire cérébral et de maladies neurodégénératives [39], et constitue un facteur de risque de déclin cognitif à tout âge et de démence d'Alzheimer plus tard dans la vie [40].

La détermination des particules de pollution magnétite exogène dans le tissu cérébral des personnes atteintes de démence avancée constitue une preuve irréfutable du lien entre la pollution atmosphérique particulaire issue de la combustion du charbon et les maladies neurodégénératives [41]. Nous avons montré que la taille et la morphologie de ces particules polluantes sont particulièrement cohérentes avec leur origine dans les cendres volantes de charbon [42], et que ces cendres volantes sont compatibles avec les principales particules pulvérisées dans la troposphère pour la géo-ingénierie de notre planète [27,29,43-47].

Les cendres volantes de charbon aérosolisées, non filtrées par les cheminées industrielles et délibérément pulvérisées dans la troposphère, constituent un facteur de risque important de BPCO et de maladies respiratoires [48], de cancer du poumon [49] et de maladies neurodégénératives [42]. Elles sont également potentiellement un facteur majeur de la disparition catastrophique à l'échelle mondiale des insectes [50], des oiseaux [51] et des forêts [28].

Avec des problèmes humains et environnementaux aussi graves et néfastes, il n'est pas surprenant que la pollution atmosphérique aux particules de cendres volantes de charbon soit le principal facteur de l'augmentation dévastatrice de la prolifération des marées rouges, comme expliqué ci-dessous.

5. EXPLOSION DE PROLIFÉRATIONS D'ALGUES NOCIVES

La photosynthèse combine l'énergie solaire, le dioxyde de carbone et les nutriments pour former des végétaux riches en carbone et oxygéner l'atmosphère. Dans l'océan, le phytoplancton photosynthétique constitue la base de la chaîne alimentaire marine, représentant environ la moitié, voire plus, de la production primaire, de l'oxygène et de la fixation du carbone de la biosphère [52]. Des facteurs anthropiques ont déjà provoqué des changements majeurs dans la température de l'eau océanique, la luminosité, l'acidification, les dépôts atmosphériques, la remontée de nutriments et la stratification [53], et sont responsables d'un déclin stupéfiant de 40 % (actuellement environ 1 % par an) de la population de phytoplancton océanique [54]. L'évolution rapide de l'environnement océanique affecte à la fois la diversité et la productivité du phytoplancton marin, favorisant souvent les espèces opportunistes à croissance rapide [55]. Ce milieu en pleine mutation favorise les

proliférations d'algues nuisibles au détriment du « bon phytoplancton », essentiel à la production primaire et à la santé des écosystèmes marins [56].

Les proliférations d'algues nuisibles (AMN) constituent un problème mondial dans les environnements côtiers, avec des effets néfastes majeurs sur les écosystèmes et les économies régionales. Ces proliférations ont un point commun : elles sont nocives, par leur production de toxines et/ou par leur prolifération et leur décomposition ultérieure, entraînant une hypoxie de la couche inférieure (« faible teneur en oxygène ») et une acidification de la subsurface dans les mers marginales [57]. La propagation des AMN résulte d'interactions complexes entre des facteurs physiques, chimiques et biologiques encore mal compris.

La plupart des AMN sont des dinoflagellés ou des cyanobactéries, mais d'autres classes d'algues, comme les diatomées, peuvent inclure des espèces qui forment des AMN dans certaines conditions [58]. Les proliférations d'algues nuisibles sont presque certainement symptomatiques d'un déséquilibre écosystémique majeur lié aux facteurs anthropiques et au changement climatique. Les proliférations d'algues nuisibles constituent un problème majeur dans les systèmes marins, saumâtres et d'eau douce du monde entier. Les cyanobactéries envahissent les eaux intérieures, tandis que le phytoplancton eucaryote (par exemple, les dinoflagellés comme la marée rouge) augmente rapidement dans le milieu marin, et des tapis benthiques de chlorophytes, de cyanobactéries et d'autres proliférations d'algues nuisibles envahissent les littoraux [59].

6. LES PROLIFÉRATIONS D'ALGUES NUISIBLES FACILITÉES EN SITUATION DE STRESS

La Floride, comme la plupart des États-Unis et le reste du monde, est confrontée à une aggravation constante des proliférations d'algues nuisibles (PAN) dans les lacs intérieurs, les cours d'eau et les estuaires. La plupart de ces PAN sont causées par des cyanobactéries, appelées cyano-PAN, et sont devenues l'une des menaces mondiales les plus importantes pour les écosystèmes aquatiques et la santé publique. Les cyanobactéries nuisibles à l'eau dégradent la qualité de l'eau plus que la plupart des produits chimiques et autres polluants. Pourtant, la surveillance et le suivi officiels de ces algues nuisibles sont très limités [60].

Les cyanobactéries sont souvent appelées « algues bleu-vert », mais ce sont en réalité des procaryotes photosynthétiques sans lien direct avec les algues supérieures (Figures 5 et 6). Au cours de leur longue histoire évolutive, les cyanobactéries se sont diversifiées en un grand nombre d'espèces aux morphologies et aux habitats de niche variés. Elles se présentent sous forme d'espèces unicellulaires, fixées à la surface, filamenteuses, coloniales et formant des tapis, et elles peuplent divers systèmes d'eau douce et marins dans un large éventail de conditions eutrophes et oligotrophes [61].



Figure 5. Algues bleu-vert le long de la rive d'un canal résidentiel – Port Charlotte, sud-ouest de la Floride. 20 mai 2019.



Figure 6. Prolifération d'algues bleu-vert (cyanobactéries) – Rive est du lac Okeechobee, près de Pahokee, Floride. 17 mai 2019.

Une forte charge en nutriments, la hausse des températures, une stratification accrue, un temps de résidence accru et une salinité accrue sont autant de facteurs favorisant la dominance des cyanobactéries dans nombre de ces écosystèmes aquatiques [62]. Les cyanobactéries résistent à la pollution et sont même utilisées dans la photo-remédiation, ou bio-lixiviation des métaux lourds contenus dans les cendres volantes de charbon [63]. Les cyanobactéries ont de graves effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement, qui devraient s'amplifier et s'aggraver avec les changements démographiques et climatiques [64] et l'augmentation de la pollution particulaire aérienne.

La Terre et les océans se sont considérablement réchauffés au cours des cinq dernières décennies [65] et la teneur en oxygène des océans a diminué [66]. Les cyanobactéries ont évolué dans des

conditions anoxiques, dominant les océans lors des extinctions passées, et sont adaptées à des températures plus élevées, à des niveaux élevés de rayonnement ultraviolet et à des apports fluctuants en nutriments [67]. Le réchauffement des océans favorise la réduction de la taille du phytoplancton, ce qui a des conséquences sur le déclin du carbone organique photosynthétisé et la fixation du carbone. [68]. Le réchauffement des océans depuis 1982 a étendu la niche des proliférations d'algues toxiques dans les océans Atlantique Nord et Pacifique Nord [69].

L'acidification accrue des océans inhibe la croissance du phytoplancton dont les coquilles de carbonate de calcium se dissolvent en milieu acide. Des océans plus acides favorisent les organismes aquatiques, dépourvus de coquilles de carbonate de calcium, y compris les dinoflagellés nocifs [70]. La surface des océans est devenue plus stratifiée avec l'augmentation des températures, la fonte des glaciers et le ruissellement des précipitations. Cette stratification favorise le phytoplancton/les algues de plus petite taille et les organismes mobiles, comme les dinoflagellés, capables de migration verticale [71].

La pénétration croissante des ultraviolets (UV-B) mortels à la surface de la Terre, associée à l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique dû aux aérosols anthropiques, constitue une menace pour toutes les communautés biotiques, y compris le plancton [72-75]. La pénétration des UV-B dans la colonne d'eau dépend de plusieurs facteurs, notamment l'angle zénithal solaire, l'altitude, les aérosols atmosphériques, la hauteur de vapeur d'eau et la présence de particules et de matières organiques dissoutes dans l'eau [76].

Les effets délétères des UV-B sur le phytoplancton et donc sur la production primaire comprennent la rupture des protéines et des membranes cellulaires, l'interférence avec les réactions enzymatiques, une diminution de la photosynthèse, une altération de la motilité et de l'orientation, et des lésions de l'ADN résultant de la production de dimères de cyclobutane pyrimidine [77]. Les variations du rayonnement ultraviolet ont des effets significatifs sur le cycle du carbone aquatique, le cycle des nutriments et les échanges gazeux traces eau-air [78]. Les réactions de réduction photochimique entre les UV-B et les complexes de fer ferrique organiques ou inorganiques libèrent du fer dans le milieu sous forme de Fe(II) ferreux, plus biodisponible [79]. L'augmentation des UV-B diminue la chlorophylle par des mécanismes directs (effet sur le photosystème) et indirects (formation de pigments). La réduction des pigments chlorophylliens et de la photosynthèse entraîne généralement une diminution de la biomasse [80].

L'augmentation des UV-B diminue la photosynthèse globale du phytoplancton, mais certaines algues et cyanobactéries ont développé des mécanismes d'évitement, de protection et de réparation pour se protéger des rayons UV nocifs [80]. Les stratégies adaptatives pour atténuer les UV B (280-315 nm) comprennent la migration verticale, la formation de tapis, les substances absorbant les UV, les stratégies de réparation et l'extinction enzymatique et non enzymatique des espèces réactives de l'oxygène (ERO) [81]. L'appauvrissement continu de la couche d'ozone associé à un rayonnement UV accru est peu susceptible de provoquer un effondrement brutal de la production photosynthétique, mais plutôt des modifications au niveau des espèces/communautés ayant un impact sur les niveaux trophiques supérieurs [81,82].

7. EFFETS DES NUTRIMENTS SUR LES PROLIFÉRATIONS D'ALGUES NOCIVES

Les sources de nutriments anthropiques provenant de l'agriculture, de l'utilisation des terres, des émissions de combustibles fossiles et des événements climatiques sont corrélées à l'augmentation

mondiale de la fréquence, de la taille et de la durée des proliférations algales. Dans les eaux plus chaudes, ces nutriments alimentent une production organique élevée, appelée eutrophisation [83]. Cette production primaire accrue entraîne l'accumulation de matières organiques particulières, qui à leur tour induisent une dégradation microbienne et une consommation d'oxygène dissous dans les eaux de fond, qui se transforment ensuite en « zones mortes » [84].

Les estuaires et les mers côtières sont particulièrement vulnérables à la double menace du réchauffement des eaux et des zones mortes [85]. Le problème de pollution le plus répandu et le plus coûteux le long des côtes mondiales est le dépôt excessif de nutriments, qui entraîne des zones mortes hypoxiques ou anoxiques [86]. Au cours des 50 dernières années, la quantité d'eau océanique pauvre en oxygène, voire inexistante, a quadruplé [87]. Les prévisions concernant les mers hypoxiques et les zones mortes prévoient une aggravation de leur fréquence, de leur gravité et de leur durée [88]. L'oxygène est non seulement essentiel à la vie sur Terre, mais il régule également les principaux cycles des nutriments et du carbone. Les grandes extinctions sont associées au réchauffement climatique et à la carence en oxygène des océans [87].

Les cycles océaniques des éléments essentiels à la vie, le carbone (C), l'azote (N), le phosphore (P) et le fer (Fe), sont étroitement liés par les besoins métaboliques du phytoplancton, dont la proportion moyenne de ces éléments est de C106:N16:P1:Fe.0075 (ratio de Redfield) [89]. Les taux de croissance, la taille des cultures et l'activité photosynthétique sont souvent régis par la disponibilité des nutriments. La loi du minimum de Liebig suggère que la croissance du phytoplancton et des algues devrait être limitée par le nutriment le plus déficient [90]. L'azote et le phosphore sont les principaux constituants de la biomasse, et le fer est essentiel à diverses enzymes et protéines de transfert d'électrons, notamment celles nécessaires à la photosynthèse. La grande majorité des eaux océaniques sont fortement limitées en azote inorganique, phosphore, fer et silice, nutriments nécessaires à la production primaire. Dans les régions riches en nutriments et pauvres en chlorophylle (océan Austral, Pacifique équatorial oriental et Pacifique Nord subarctique), le fer est un nutriment limitant, tandis qu'en dehors de ces zones, la productivité est souvent limitée par l'azote inorganique [91].

Les sources anthropiques de nutriments pour le phytoplancton comprennent le ruissellement agricole, les eaux usées, les écoulements souterrains et les dépôts atmosphériques. Ces apports diffus de nutriments sont difficiles à mesurer et à réguler, car ils proviennent et se dispersent à partir d'activités sur de vastes zones [92]. Partout dans le monde, il existe une forte corrélation entre l'apport de phosphore dans l'eau douce, l'apport d'azote dans les estuaires et la biodiversité marine. L'effet global de la surabondance de nutriments est souvent spécifique à chaque espèce parmi le phytoplancton et les algues [93].

Les proliférations d'algues nuisibles sont devenues un phénomène mondial qui touche tous les continents et toutes les nations côtières. La disponibilité des nutriments, ainsi que les conditions de température et de luminosité, sont les principaux déterminants de la croissance des algues nuisibles et de l'accumulation de biomasse [94]. L'expansion des AMN à travers le monde est liée aux conditions environnementales biotiques et abiotiques, aux adaptations physiologiques des algues nuisibles et à une modification de l'apport de « bons nutriments au bon moment » [95].

Il est généralement admis que : (1) la dégradation de la qualité de l'eau due à la pollution par les nutriments favorise le développement et la persistance des AMN ; (2) la composition – et pas seulement la quantité totale – de ce réservoir de nutriments affecte les AMN ; (3) l'apport chronique

et épisodique de nutriments favorise le développement des AMN ; et (4) que la gestion des apports de nutriments dans le bassin versant peut conduire à une réduction significative des AMN. De plus, il est généralement admis que les proliférations de biomasse élevées doivent bénéficier de nutriments exogènes pour être maintenues [96]. Pour les nutriments comme le phosphore, le fer et la silice, cet apport externe se limite aux dépôts atmosphériques ou au ruissellement côtier, tandis que leur principal puits est la sédimentation des particules. L'azote dispose d'une source supplémentaire, la fixation du gaz N₂, et du puits biologique de la dénitrification [91].

La croissance du phytoplancton est soutenue par le recyclage des nutriments et la réintroduction de nutriments provenant des eaux plus profondes par remontée d'eau et mélange. Les sources nouvelles ou externes de nutriments, notamment le phosphore, l'azote, le fer et le silicium, sont principalement fournies par les apports côtiers/fluviaux ou les dépôts atmosphériques [91]. Les aérosols naturels comprennent la poussière, les embruns marins et les bio-aérosols, tandis que les aérosols de pollution anthropique sont produits principalement par les sources d'énergie de combustion industrielle et les cendres volantes de charbon mises en place par la géo-ingénierie [27,46,97]. Les apports anthropiques de nutriments dans l'atmosphère peuvent modifier l'environnement marin, favorisant certaines espèces de phytoplancton et d'algues par rapport à d'autres, affectant ainsi la santé et l'équilibre global de l'écosystème [98]. À l'échelle mondiale, les apports atmosphériques de nutriments sont égaux ou supérieurs aux apports fluviaux, et pour la plupart des espèces de phytoplancton, cette contribution est plus importante dans l'hémisphère nord que dans l'hémisphère sud [99]. L'atmosphère est une voie de transport importante pour des nutriments essentiels comme l'azote et le fer. L'azote réactif provenant des dépôts atmosphériques dans l'océan, provenant des émissions anthropiques terrestres, est désormais d'une ampleur équivalente à l'apport d'azote provenant des sources côtières (fluviales) et à la fixation de l'azote par les organismes vivants [100]. On trouve également une teneur élevée en phosphore (P), un autre élément clé provenant de la biomasse, de la combustion du charbon et des cendres volantes de charbon issues de la géo-ingénierie [101]. On estime que les sources de combustion (hors géo-ingénierie) pourraient contribuer à plus de la moitié des émissions totales de phosphore dans l'atmosphère [102].

8. EFFETS CATASTROPHIQUES DES CENDRES VOLANTES DE CHARBON EN MILIEU AQUATIQUE

Le rejet intentionnel ou accidentel de cendres volantes de charbon (CVC) dans les systèmes aquatiques est associé à de nombreux effets environnementaux nocifs [103]. Le rejet de CVC directement dans les eaux océaniques entraîne un appauvrissement profond de la vie benthique à proximité du site de déversement [104,105].

De plus en plus de preuves démontrent que la dispersion catastrophique de cendres volantes de charbon dans les océans a joué un rôle clé dans les précédentes Grandes Extinctions. L'Extinction du Permien (ou « Grand Extinction ») a coïncidé avec une activité volcanique exceptionnelle dans les Trapps sibériens, entraînant le mélange de magma souterrain avec d'épaisses veines de charbon et la production de panaches étendus de cendres volantes pyroclastiques remontant vers la haute atmosphère [106]. Cette théorie est fortement corroborée par des dépôts de charbon dans des roches permienues, remarquablement similaires aux CVC actuelles [107].

La période d'extinction du Permien a été caractérisée par des océans pauvres en oxygène, des niveaux élevés de dioxyde de carbone, de méthane et de sulfure d'hydrogène, et un réchauffement

climatique rapide atteignant des niveaux mortels pour la plupart des organismes vivants [108]. Durant l'extinction du Permien, le plancton et les algues eucaryotes auraient fortement décliné au détriment des photo-autotrophes procaryotes et des producteurs primaires capables de fixer l'azote. Les biomarqueurs de cette époque montrent l'expansion des cyanobactéries planctoniques (photosynthétiques) et des bactéries anaérobies obligatoires comme les Chlorobiaceae, qui utilisent les sulfates pour respirer plutôt que l'oxygène, produisant ainsi du sulfure d'hydrogène comme sous-produit [109,110]. La vie n'a pas totalement disparu à la fin du Permien, mais on estime qu'au moins 80 % des espèces marines ont disparu durant cette période [111].

9. APPORTS DE FER DES CENDRES VOLANTES DE CHARBON DANS LES SYSTÈMES AQUATIQUES

Le fer (Fe) est un élément essentiel des cendres volantes de charbon. Il est présent dans la phase vitreuse aluminosilicate et dans la phase minérale, notamment la magnétite (Fe_3O_4) et l'hématite (Fe_2O_4) [35]. Le fer soluble Fe(II) est extrêmement rare dans l'eau océanique oxygène (oxygénée) en raison de son oxydation rapide en formes insolubles de Fe(III) (oxyhydroxyde de fer). De plus en plus d'éléments suggèrent que les conditions ferrugineuses, ou à forte teneur en fer dissous, étaient une caractéristique majeure des océans anoxiques comme le Permien tout au long de l'histoire de la Terre [112].

Le fer dissous dans la colonne d'eau provient de sources telles que les sources hydrothermales, les sédiments du plateau continental via la diagenèse anoxique et les dépôts atmosphériques [112]. Le fer présent dans les CVC peut être partiellement converti en une forme hydrosoluble lors d'expériences de lixiviation en laboratoire [101,113]. Les précipitations collectées suite à une activité de géo-ingénierie particulière aérosolisée contiennent des proportions d'éléments similaires à celles des expériences de lixiviation des CVC, notamment du fer [27,29].

L'apport externe de fer exerce un contrôle sur la dynamique des proliférations planctoniques, ce qui affecte à son tour les cycles biogéochimiques du carbone, de l'azote, du silicium, du soufre et d'autres éléments, influençant ainsi le système climatique terrestre [114]. Le fer biodisponible peut provenir du traitement atmosphérique de poussières minérales relativement insolubles et des émissions directes de fer plus soluble provenant de sources de combustion [115]. L'augmentation des dépôts de fer provenant des aérosols polluants entraîne une augmentation de la productivité régionale, de la respiration et de l'appauvrissement en oxygène du sous-sol [116]. Bien que nos connaissances restent incomplètes, il est désormais clair que l'activité humaine a un impact considérable sur la disponibilité du fer dans les océans du monde, par le biais de la pollution industrielle et de la pollution par géo-ingénierie [27,29,46,97], et que le fer anthropique joue un rôle clé dans le système biogéochimique terrestre [117].

Des études indiquent une augmentation spectaculaire du fer soluble atmosphérique dans les océans du monde au cours des 100 à 150 dernières années [118]. Les acides formés à partir de polluants gazeux anthropiques tels que le dioxyde de soufre dissolvent le fer dans les particules aérosolisées, augmentant ainsi considérablement la biodisponibilité du fer dans l'océan [119]. L'analyse particulière des particules atmosphériques au-dessus de la mer de Chine orientale a montré que les particules riches en fer étaient recouvertes de sulfate après seulement 1 ou 2 jours de séjour dans l'atmosphère. La microscopie électronique à balayage en transmission (STEM) de ces particules polluantes a révélé que la plupart d'entre elles se présentent sous la morphologie sphérique caractéristique des particules de cendres volantes de charbon [120].

Les inventaires actuels des émissions de fer, hors utilisation de la géo-ingénierie, indiquent que le dépôt de fer soluble dans l'océan provenant des seules cendres volantes de charbon pourrait être 50 % supérieur à celui des poussières naturelles [120]. La variation de la spéciation du fer produit des différences systémiques dans la solubilité du fer ; moins de 1 % du fer dans les sols arides était soluble, contre 2 à 3 % dans les particules glaciaires et jusqu'à 80 % dans les produits de combustion du pétrole [121]. Le traitement atmosphérique simulé augmente également la solubilité du fer en raison de modifications significatives de la morphologie du verre d'aluminosilicate, un composant dominant des cendres volantes de charbon. Le fer est continuellement libéré dans le milieu aqueux lorsque les particules de cendres volantes se fragmentent en fragments plus petits [122]. L'ensemble de ces résultats suggère que les cendres volantes de charbon, d'origine industrielle et de la géo-ingénierie, constituent une source primaire de fer soluble océanique, avec un impact significatif sur la productivité des océans, l'exportation de carbone et l'appauvrissement en oxygène [120].

10. EFFETS DES CENDRES VOLANTES DE CHARBON SUR LE FER ET LES SYSTÈMES AQUATIQUES

L'acidité des particules affecte la concentration, la composition chimique et la toxicité des aérosols. Les sulfates et les nitrates sont les principaux composants qui déterminent l'acidité des particules de $\leq 2,5$ μ m de diamètre. Les particules d'aérosols polluantes enrobées de sulfate ont conservé une acidité élevée malgré la baisse des niveaux de SO_2 dans l'atmosphère [123]. Les particules de cendres volantes de charbon riches en fer développent rapidement une couche de sulfate par conversion gaz-particules après seulement 1 ou 2 jours d'altération atmosphérique sur les surfaces d'eau douce et d'eau salée, un effet amplifié sur les zones côtières [124].

Une étude récente a montré que la charge en aérosols de sulfates et de nitrates en hiver et au printemps sur la côte du golfe du Bengale augmentait l'acidité au point de transformer cette région, passant d'un puits de CO_2 atmosphérique à une source de CO_2 [125]. De nombreux oligo-éléments et métaux présents dans les cendres volantes de charbon présentent une tendance croissante à la dissolution ou à la « mobilisation », avec la baisse du pH [126].

L'acidité des océans peut avoir un impact considérable sur la structure et le fonctionnement des réseaux trophiques marins, diminuant ainsi la productivité océanique. Le réchauffement et l'acidification des océans augmentent la biomasse cyanobactérienne et réduisent le flux d'énergie vers les niveaux trophiques supérieurs, diminuant ainsi l'efficacité du transfert d'énergie entre producteurs et consommateurs [127].

L'aluminium et la silice sont les principaux composants des cendres volantes de charbon. L'aluminium est normalement emprisonné sous forme d'oxydes dans la croûte terrestre et n'a aucune fonction biologique. Cependant, l'aluminium et de nombreux oligo-éléments présents dans les cendres volantes de charbon peuvent être lessivés sous des formes chimiquement mobiles ou biodisponibles par exposition à l'humidité et à une acidité accrue. Le fer et l'aluminium présents dans les cendres volantes de charbon suivent un modèle amphotère, avec une lixiviation accrue dans les milieux très acides et très basiques [128]. Peu d'études ont été menées sur les effets de l'aluminium sur le phytoplancton, mais certaines données suggèrent que l'aluminium facilite l'utilisation du fer, augmentant à la fois la biomasse planctonique et algale et la fixation du carbone dans les couches supérieures des océans, et réduisant la décomposition de la matière biogénique à

plus basse profondeur [129].

Les diatomées marines sont sensibles aux concentrations d'aluminium dans l'eau de mer, avec des mécanismes toxiques liés à l'aluminium dissous et précipité [130]. En revanche, des concentrations accrues d'aluminium entraînent une biomasse plus élevée et une augmentation des produits de décomposition chez les cyanobactéries [131]. La majorité des métaux traces particuliers associés au phytoplancton proviennent d'aérosols anthropiques, et non de poussières minérales. [132]. Une étude de plusieurs éléments (P, Si, Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu et Zn) présents dans le plancton fractionné par taille et les particules en suspension dans les eaux de surface de la mer de Chine méridionale a révélé les observations suivantes : la majorité des métaux étaient extracellulaires et concentrés dans les algues, et les éléments associés au phytoplancton provenaient d'aérosols anthropiques riches en métaux solubles [133].

De nombreux oligo-éléments présents dans les cendres volantes de charbon, issus de sources industrielles et de géo-ingénierie, qui deviennent biodisponibles sous forme d'ions issus des dépôts atmosphériques, sont toxiques pour la vie marine et le phytoplancton. Les mécanismes de toxicité des métaux sont divers et spécifiques aux espèces, mais comprennent : (1) la liaison aux groupes sulfhydryles et la perturbation de la fonction protéique ; (2) le déplacement des ions essentiels des sites de liaison ; et (3) la génération d'espèces réactives de l'oxygène [134]. La plupart des ions métalliques exogènes ont un effet négatif sur la photosynthèse. À des concentrations sublétales, des éléments non essentiels, comme le cadmium, le plomb et l'hydrogène, inhibent les enzymes photosynthétiques, tandis que d'autres, comme le chrome hexavalent (Cr6+), provoquent des dommages par blanchiment dû à la production d'espèces réactives de l'oxygène [135].

La contamination de l'environnement par le mercure est l'une des conséquences néfastes de la géo-ingénierie utilisant des cendres volantes de charbon aérosolisées [27]. La charge océanique en mercure bivalent (Hg2+) provenant des dépôts atmosphériques a été multipliée par 5 au cours des 150 dernières années et constitue l'un des éléments non essentiels les plus toxiques pour le plancton et les autres organismes marins [136].

Les éléments essentiels à des concentrations supra-optimales affectent également le phytoplancton. Les dépôts de cuivre ont fortement augmenté et il a été démontré qu'ils altèrent la production primaire marine et la structure de la communauté planctonique dans les zones à fortes concentrations d'aérosols et à faible teneur en chlorophylle [137]. Une étude portant sur un mélange de dix polluants métalliques à forte concentration a montré une inhibition de la croissance du phytoplancton en laboratoire et en milieu naturel, avec un effet accru du cuivre et du mercure [138] ; ces deux éléments sont présents dans les cendres volantes de charbon [101].

Les cyanobactéries sont les seuls procaryotes capables de photosynthèse oxygénée et se sont répandues dans de nombreuses zones fortement polluées et contaminées par les métaux. Les cyanobactéries disposent de mécanismes pour se protéger des excès de métaux, notamment la production de métallothionéines, l'induction de transporteurs de métaux et l'excrétion par des sidérophores [139]. Dans les zones fortement polluées et contaminées par les métaux, les proliférations d'algues nuisibles sont grandement favorisées.

11. EFFETS DU FER DES CENDRES VOLANTES DE CHARBON SUR LES PROLIFÉRATIONS D'ALGUES NUISIBLES

Le fer d'origine atmosphérique est considéré comme le déclencheur des proliférations de « marées brunes » (*Trichodesmium*) et de « marées rouges » (*K. brevis*) [6,7]. Les sources atmosphériques sont principalement constituées de cendres volantes de charbon rejetées par l'industrie et dispersées par géo-ingénierie.

De grandes proliférations de *K. brevis* sont fréquemment associées à des proliférations de la cyanobactérie fixatrice d'azote *Trichodesmium* dans les eaux autrement pauvres en azote de l'est du golfe du Mexique [140]. Des niveaux importants de fer sont nécessaires à la fixation de l'azote par l'enzyme nitrogénase, et par conséquent, les niveaux de fer soluble/biodisponible limitent la biomasse de *Trichodesmium* spp [141].

Les proliférations de *K. brevis* issues de populations de graines (généralement des formes kystiques) originaires de 20 à 75 kilomètres des côtes se mélangent ensuite à celles de *Trichodesmium* en raison de la position initiale des deux espèces dans les couches inférieures d'Ekman, de leurs schémas de migration verticale similaires sur le plateau continental moyen, et des remontées d'eau et des flux marins ultérieurs vers les eaux côtières [142]. Une analyse des proliférations de *K. brevis* sur plusieurs décennies confirme la séquence d'événements suivante : (1) les épisodes de « poussière » et de précipitations estivales augmentent les niveaux de fer soluble au large ; (2) Les dépôts de fer alimentent les stocks de graines de *K. brevis* et de *Trichodesmium* ; (3) La libération d'azote organique dissous stimule non seulement *K. brevis*, mais aussi ses concurrents planctoniques ; (4) Les concurrents de *K. brevis* à reproduction rapide sont broutés sélectivement (*K. brevis* est considéré comme immangeable par le zooplancton) ; et (5) De grandes masses de proliférations peuvent proliférer dans les eaux riches en nutriments plus proches des côtes [7].

Les sources de nutriments proches de *K. brevis* comprennent d'autres espèces de plancton et leurs produits de décomposition, les flux terrestres de nutriments d'origine anthropique (industrielle et géo-ingénierie), benthiques (flux des fonds marins) et même la mortalité des poissons et la décomposition de la faune [6].

Le fer présent dans les aérosols de combustion issus de sources industrielles et de géo-ingénierie est beaucoup plus soluble dans l'eau que dans les poussières minérales et représente la majeure partie des dépôts de fer biodisponible dans les océans [120,122]. Cependant, en raison de la capture d'espèces solubles/gazeuses par les poussières minérales mélangées aux aérosols polluants, les fractions de fer dissous dans les poussières augmentent.

En présence de pollution, les substances gazeuses acides se condensent sur les poussières minérales, transformant les particules d'hydrophobes en hydrophiles. Le transport de poussières du désert de Gobi, en Asie, vers l'océan Pacifique n'entraîne des proliférations de phytoplancton que si la poussière s'accompagne d'un rapport SO₂/poussière élevé, ce qui suggère que les dépôts d'acide sulfurique sur les particules de poussière sont capables de mobiliser le fer incrusté et de le rendre disponible pour l'absorption par le phytoplancton [143], à la manière des « pluies acides » [144].

Les deux types d'aérosols de cendres volantes de charbon, industriels et de géo-ingénierie, ainsi que les poussières minérales (vieillies dans l'atmosphère), fournissent des noyaux de condensation nuageuse [145,146] et réduisent les pertes de chaleur à la surface de la Terre [10-14]. Le cycle redox du fer se produit dans les gouttelettes d'eau atmosphérique, et la concentration de Fe(II) dissous dans ces gouttelettes augmente avec l'exposition à la lumière et la baisse du pH [147]. L'eau de pluie, en particulier celle issue de la géo-ingénierie, est une source majeure de Fe soluble dans

l'Atlantique Nord [147], et les marées rouges se forment généralement après de fortes pluies estivales. Ainsi, la combinaison d'éléments toxiques et de macro et micronutriments potentiels dans les deux types d'aérosols de cendres volantes de charbon et dans les masses d'air mixtes poussières/pollution joue un rôle important dans les changements complexes des populations de phytoplancton et d'algues à l'échelle mondiale. Les cyanobactéries nuisibles ont des coûts socio-économiques et écologiques importants, notamment en matière d'eau potable, de pêche, d'agriculture, de tourisme, d'immobilier, de perturbation du réseau trophique, d'anoxie des couches inférieures et de mortalité des poissons. L'intoxication par les toxines cyanobactériennes (CTP) se produit en eau douce et saumâtre partout dans le monde. Les biotoxines CTP comprennent des neurotoxines, comme les anatoxines et les saxitoxines, et des hépatotoxines, comme les microcystines et les cylindrospermopsines [148].

Il a été démontré que les dépôts atmosphériques d'aérosols de type cendres volantes de charbon sont non seulement des sources d'azote et de phosphore, mais aussi une source primaire de fer soluble/biodisponible. Si l'azote et le phosphore sont importants, le fer biodisponible est probablement le facteur limitant critique qui régule la croissance des cyanobactéries dans les lacs eutrophes d'eau douce [149]. Outre les dépôts atmosphériques, les apports fluviaux, le recyclage interne et l'infiltration d'eaux souterraines riches en fer sont des sources de fer pour les lacs et cours d'eau intérieurs [150]. Le phosphore peut réguler la biomasse et la productivité en eau douce jusqu'à ce qu'une charge excessive limite le système en azote ou en lumière. Cependant, ce sont les ions fer ferreux qui renforcent la capacité des cyanobactéries à dominer leurs concurrents eucaryotes.

Les cyanobactéries acquièrent le fer en migrant vers le bas pour acquérir du Fe(II) dans les eaux anoxiques et par la production de sidérophores qui fournissent du Fe(III) pour la réduction au niveau de la membrane cellulaire des cyanobactéries [151]. De nombreuses « nouvelles » proliférations de cyanobactéries se produisent dans les lacs d'eau douce oligotrophes (pauvres en nutriments) sans antécédents de cyano-AMN. Les résultats suggèrent que les cyanobactéries sont capables d'utiliser des systèmes similaires de piégeage du Fe pour surmonter la limitation en Fe dans les lacs de tous les états trophiques [152].

Lyngbya majuscula est une cyano-AMN marine toxique dont l'importance ne cesse de croître sur les côtes de Floride et ailleurs dans le monde. La co-occurrence de la marée rouge de *K. brevis* et des proliférations d'algues *Lyngbya* (algues bleu-vert) a été documentée dans les eaux côtières du sud de la Floride [152]. Les nutriments stimulant la croissance de *Lyngbya*, une algue fixatrice d'azote, sont les suivants : $Fe > P > N$ [153]. Ces preuves, de plus en plus nombreuses, suggèrent que limiter la libération de fer soluble provenant des aérosols de pollution atmosphérique est essentiel pour contrôler les AMN à l'échelle mondiale.

12. LA FOLIE DE LA FERTILISATION EN FER DES OCÉANS

Les techniques de géo-ingénierie pour la « fertilisation ferreuse » des océans font encore l'objet de nombreux débats [154]. La citation : « Donnez-moi la moitié d'un pétrolier de fer et je vous donnerai une nouvelle ère glaciaire », prononcée en 1988 par le regretté océanographe John Martin (auteur de l'« hypothèse du fer »), a été le point de départ de ces discussions. L'idée est que dans les océans Australs à forte teneur en nitrates et faible teneur en chlorophylle (HNLC), l'ajout de fer stimulerait à la fois le phytoplancton et la photosynthèse, avec une réduction accrue du CO_2 atmosphérique [155].

Jusqu'à présent, la fertilisation ferreuse s'est limitée à une douzaine d'expériences scientifiques. Au cours des deux dernières décennies, ces expériences ont montré que le fer peut effectivement accroître la réduction des nutriments, entraînant une augmentation correspondante de la production primaire et du carbone inorganique dissous. Cependant, la majorité de ces études documentent les effets potentiellement nocifs de la fertilisation ferreuse, notamment les déplacements des populations planctoniques, la diminution de l'oxygène de surface et la libération accrue de substances potentiellement nocives comme les oxydes d'azote, le sulfure de diméthyle et des composés organiques halogénés volatils [156].

Il a été démontré que l'enrichissement en fer provoque des proliférations de la diatomée toxique *Pseudonitzschia* et sa production d'acide domoïque, une neurotoxine, entraînant des effets mortels sur les écosystèmes marins [157]. Les données disponibles à ce jour indiquent qu'une fertilisation ferreuse à grande échelle est potentiellement délétère pour le climat mondial et les systèmes océaniques, et qu'elle est peu susceptible d'avoir des conséquences positives [158,159].

Des données récemment publiées indiquent clairement que les aérosols contenant du fer pyrogène, industriels et issus de la géo-ingénierie, représentent les principales sources de fer biodisponible en haute mer [160]. De plus, la forte solubilité du fer, en particulier au-dessus des océans Austral, suggère l'absence d'une source de fer pyrogène et de ses produits de dissolution [161]. Nous avons publié des preuves solides que cette « source manquante » de fer biodisponible est largement fournie par des opérations de géo-ingénierie des aérosols troposphériques non divulguées utilisant des cendres volantes de charbon, menées partout dans le monde [27-29,44-46,162]. Le dépôt atmosphérique de nutriments qui en résulte, et en particulier de fer soluble, a entraîné une prolifération d'algues et de cyanobactéries nuisibles au niveau de la population planctonique mondiale, au détriment du « bon phytoplancton » responsable de la production primaire.

Outre les flux de nutriments, l'équilibre et la productivité du plancton sont contrôlés par d'autres facteurs qui subissent des changements majeurs en raison du changement climatique anthropique causé par la pollution industrielle et la pollution par la géo-ingénierie des cendres volantes de charbon [10-14,28]. La pollution, le réchauffement des océans et l'acidification de la surface, la stratification, le ruissellement terrestre et le rayonnement ultraviolet excessif interagissent pour perturber et modifier la population mondiale de phytoplancton procaryote et eucaryote [163]. Malgré l'importance des microbes dans le processus de recyclage des polluants anthropiques, les interactions entre l'acidification des océans, le rayonnement ultraviolet, les polluants d'origine humaine et les communautés microbiennes marines ont été largement négligées [164]. Les données présentées dans cette revue indiquent clairement que les dépôts atmosphériques provenant de la pollution par les aérosols de cendres volantes de charbon, de l'industrie et de la géo-ingénierie sont un facteur majeur contribuant de manière significative à tous ces facteurs environnementaux et écosystémiques, et sont également le principal facteur à l'origine du réchauffement climatique.

13. MENACES ÉMERGENTES

L'algue sargasse, une macroalgue tropicale, constitue la menace la plus récente pour les écosystèmes de Floride, du sud-est des États-Unis et des Caraïbes. Les sargasses, traditionnellement une importante nurserie pour la vie marine dans l'Atlantique Ouest, ont connu une croissance si explosive au cours de la dernière décennie qu'elles menacent désormais les zones côtières du Mexique à l'Afrique de l'Ouest. Les algues s'accumulent sur les plages, créant une barrière putride menaçant les plantes et les animaux, et leur décomposition est associée à des émissions de sulfure

d'hydrogène et à une anoxie régionale [165]. Les causes sous-jacentes de cette transformation des sargasses, d'algues bénéfiques à extrêmement nuisibles, sont inconnues, mais le réchauffement des océans, les perturbations des limites liquides et les variations de courants ont été impliqués [166]. L'apport de nutriments provenant de l'Amazonie et du Mississippi contribue probablement à l'expansion de la biomasse des sargasses [167]. Cependant, on sait déjà que le fer provenant des dépôts atmosphériques (« poussières éoliennes ») est le principal régulateur de la production primaire dans la mer des Sargasses [168], ce qui suggère que les cendres volantes de charbon aérosolisées jouent un rôle primordial dans sa croissance explosive. Il est clair que des recherches supplémentaires sont nécessaires pour étudier cette relation afin de contrôler la propagation rapide de cette algue nuisible récemment apparue.

14. RECOMMANDATIONS POUR DES ÉTUDES COMPLÉMENTAIRES

Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour comprendre les moyens les plus appropriés de prédire, surveiller, minimiser et supprimer les infestations d'algues nuisibles, notamment pour déterminer s'il faut et comment réguler les toxines algales. Plusieurs organismes doivent être impliqués dans la réalisation d'activités liées aux AMN, notamment la recherche sur les AMN, la prévision de leur présence, le soutien de projets d'amélioration de la qualité de l'eau et la mise en place de programmes de sensibilisation communautaire [169]. L'Agence américaine de protection de l'environnement (EPA) soutient l'établissement de critères quantitatifs pour les nutriments ciblés sur différentes catégories de plans d'eau, fondés sur les connaissances scientifiques relatives à la charge en nutriments et à la qualité de l'eau [170]. Cependant, on observe un manque flagrant de recherche et donc de progrès dans le domaine de la prévention, du contrôle et de l'atténuation des AMN. Ce manque s'explique notamment par le manque de financement pour la lutte contre les proliférations et par la complexité des écosystèmes marins dynamiques et tridimensionnels dans lesquels ces proliférations se produisent. La portée mondiale des AMN, notamment leur impact croissant dans les pays en développement, et le rôle crucial de la pollution diffuse (qui ne respecte pas les frontières), rendent la coopération internationale essentielle tant pour la recherche que pour la prévention et le contrôle [171].

La recherche devrait se concentrer sur le fer, nutriment clé dans la régulation de la production primaire et l'équilibre entre les algues bénéfiques et nuisibles. Il a maintenant été démontré que la forte solubilité du fer dans les aérosols est principalement attribuable à la libération de fer labile par les oxydes de fer pyrogènes. Des études plus approfondies sur les processus augmentant la solubilité du fer sont nécessaires dans les aérosols, la pluie (nuages de pluie) et la neige (nuages de neige) au-dessus des océans. Des méthodes d'analyse standard pour évaluer la solubilité des aérosols dans les environnements pollués et propres devraient être une priorité absolue [161]. Le brunissement mondial des eaux de surface, y compris des zones côtières, appelé « brunification », est associé à des quantités accrues de matière organique dissoute et de fer soluble. Des recherches sont nécessaires pour résoudre ce problème mondial, car cet environnement est probablement un milieu fertile pour de nouvelles AMN [172]. Le fer est un facteur de croissance essentiel pour les AMN. Le développement des AMN dans les phases précoces peut être stoppé par des mesures visant à réduire le fer biodisponible, par exemple des méthodes de réduction du Fe(II) en sulfures insolubles (FeS/FeS₂) [173]. Cependant, la source de fer biodisponible doit encore être stoppée à la source, tant dans les émissions de combustion que dans les cendres volantes de charbon utilisées dans la géo-ingénierie des aérosols troposphériques.

Les recherches décrites ici montrent que la clé de la réduction des proliférations d'algues nuisibles

(PAN) en Floride et ailleurs réside dans la réduction de la pollution particulaire, en particulier la pollution ferreuse pyrogène. L'arrêt rapide de la géo-ingénierie troposphérique des cendres volantes de charbon devrait réduire considérablement les PAN. Une réduction supplémentaire des PAN est possible grâce à la réduction de la pollution provenant des gaz d'échappement non filtrés des centrales au charbon. Dans les pays occidentaux, la plupart des particules provenant des gaz d'échappement des centrales au charbon sont déjà piégées électrostatiquement [174], et les oxydes de soufre et d'azote sont également séquestrés [175]. Cette technologie devrait être appliquée partout où le piégeage est inexistant ou insuffisant. Des méthodes plus efficaces sont nécessaires pour réduire davantage les polluants gazeux (SO_2 et NO_2) qui acidifient les particules polluantes, mobilisant ainsi le fer et d'autres éléments nocifs.

15. CONCLUSIONS

La vie sur Terre est possible grâce aux multiples interactions entre les créatures biologiques et aux processus physiques naturels, variables et complexes, qui jouent un rôle crucial sur notre planète. Par conséquent, nul n'est en mesure de géo-ingénierier la Terre sans provoquer une dévastation massive et irréversible de l'environnement dont nous dépendons pour une existence saine.

La géo-ingénierie, cependant, se pratique quasi quotidiennement, à l'échelle quasi mondiale, sans divulgation publique ni consentement éclairé, mais avec des conséquences dévastatrices. Comme décrit dans cette étude, les cendres volantes de charbon issues de la géo-ingénierie et de sources industrielles provoquent une modification radicale des environnements aquatiques mondiaux, favorisant les proliférations d'algues et de cyanobactéries nuisibles au détriment du « phytoplancton bénéfique ».

Les polluants aérosolisés des cendres volantes de charbon (CVC) provenant des émissions incontrôlées des centrales électriques au charbon et des opérations de géo-ingénierie troposphérique non divulguées, bien que « cachées à la vue de tous », causent des dommages irréparables aux masses d'eau de surface de la planète et nuisent gravement à la santé humaine (notamment au cancer du poumon, aux maladies respiratoires et neurodégénératives) et à l'environnement (notamment à la mortalité massive d'insectes, d'oiseaux et d'arbres).

De nouvelles données indiquent que la pollution particulaire, et non le dioxyde de carbone, est la principale cause du réchauffement climatique. La pollution atmosphérique et le changement climatique qui lui est associé constituent désormais des urgences mondiales de santé publique et environnementales, dont les conséquences, comme le décrit cette étude, sont responsables de la modification radicale des milieux d'eau salée et d'eau douce, au profit des proliférations d'algues nuisibles et de cyanobactéries, au détriment du « phytoplancton bénéfique ».

Les principales conclusions sont résumées comme suit :

- Les cendres volantes de charbon aérosolisées, issues des émissions non séquestrées des centrales électriques au charbon et d'opérations de géo-ingénierie troposphérique non divulguées, ont causé d'importants dommages à la santé humaine, à l'environnement naturel et aux eaux de surface dans le monde entier.
- Les cendres volantes de charbon issues de la combustion spontanée du charbon ont joué un rôle important lors des précédentes Grandes Extinctions, et leur pollution accélère considérablement la sixième Grande Extinction anthropique actuelle.

- La prolifération d'algues et de cyanobactéries nuisibles menace non seulement tous les écosystèmes marins et d'eau douce, mais aussi la santé humaine et l'environnement.
- Les aérosols de type pollution atmosphérique contribuent significativement au réchauffement, à l'acidification, à la stratification et au niveau d'irradiation ultraviolette des océans.
- Le dépôt atmosphérique de particules polluantes de type CVC, notamment de fer biodisponible, a radicalement modifié l'équilibre du phytoplancton en faveur des algues et des cyanobactéries nuisibles.
- Les cendres volantes de charbon constituent la principale source de fer soluble dans les eaux de surface. De plus, le fer est le nutriment clé qui régit l'équilibre entre le plancton bénéfique et les algues et cyanobactéries nocives.
- De nombreux éléments toxiques présents dans les CVC peuvent affecter l'équilibre planctonique.
- Par le mélange et l'altération atmosphérique, la pollution de type CVC « corrompt » également les poussières minérales, augmentant ainsi leur teneur en fer biodisponible.
- Les projets de géo-ingénierie impliquant la fertilisation des océans par le fer aggraveront considérablement une situation déjà préoccupante, comme le montrent des études scientifiques et des opérations secrètes de géo-ingénierie utilisant des CVC.
- La propagation mondiale des proliférations d'algues et de cyanobactéries nuisibles ne peut être contenue qu'en réduisant rapidement la pollution atmosphérique particulaire et en arrêtant immédiatement les aérosols pulvérisés.
- La pollution particulaire étant une cause majeure du réchauffement climatique, le contrôle des émissions et l'arrêt des aérosols pulvérisés délibérément devraient contribuer à atténuer l'emballement du réchauffement à court terme.
- Les mesures correctives reposent non seulement sur la coopération internationale à tous les niveaux d'autorité, mais aussi sur la fin du silence pesant sur la géo-ingénierie des aérosols troposphériques non divulgués.
- Le déséquilibre mondial entre le phytoplancton bénéfique et les proliférations d'algues nuisibles est directement lié à la contamination et à la manipulation des aérosols atmosphériques.
- La poursuite des opérations de géo-ingénierie menées par plusieurs États-nations constitue une menace pour toute vie.

Le cauchemar toxique croissant des marées rouges et des algues bleu-vert en Floride est un microcosme d'activités similaires qui se déroulent partout dans le monde. Le dépôt atmosphérique de nutriments et de particules polluantes est un facteur critique qui doit être contenu à la source. La bonne nouvelle est que le réchauffement climatique et la pollution atmosphérique peuvent être rapidement réduits grâce à des contrôles universels des émissions de particules et à l'arrêt immédiat des aérosols particuliers pulvérisés. Nous présentons ici des preuves que seules de telles mesures permettront de contenir la propagation mondiale des proliférations d'algues nuisibles. Cependant, ces mesures correctives ne reposent pas seulement sur la coopération internationale, mais aussi sur la nécessité de mettre un terme au smog de complaisance et à l'omerta mortelle qui en découle, omniprésente au sein des gouvernements, du monde universitaire et des médias, concernant la géo-ingénierie des aérosols troposphériques. La pression exercée en coulisses et de longue date en faveur du contrôle météorologique, de l'« intervention climatique » et de la géo-ingénierie menace non seulement l'humanité entière, mais aussi l'ensemble du réseau de la vie sur Terre.

DÉCLARATION ÉTHIQUE

Les auteurs affirment que les déclarations techniques, scientifiques, médicales et de santé publique

figurant dans la littérature scientifique en général, y compris dans cette revue en particulier, doivent être, et sont, véridiques et exactes dans toute la mesure du possible, et doivent contribuer au maximum à la protection de la santé et du bien-être de l'humanité et de l'environnement naturel de la Terre.

CONFLIT D'INTÉRÊTS

Les auteurs ont déclaré n'avoir aucun conflit d'intérêt, ni institutionnel ni commercial. La recherche a été financée par les efforts personnels des auteurs.

RÉFÉRENCES

1. Fleming LE, Kirkpatrick B, Backer LC, Walsh CJ, Nierenberg K, Clark J, et al. Review of Florida red tide and human health effects. *Harmful Algae*. 2011;10(2): 224-33.
2. Perkins S. Inner workings: Ramping up the fight against Florida's red tides. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2019;116(14):6510-2.
3. Brand LE, Compton A. Long-term increase in *Karenia brevis* abundance along the Southwest Florida Coast. *Harmful algae*. 007;6(2):232-52.
4. Available:<https://arctic.noaa.gov/Report-Card/Report-Card-2018/ArtMID/7878/ArticleID/789/Harmful-Algal-Blooms-in-the-Arctic> Accessed May 22, 2019.
5. Kirkpatrick B, Fleming LE, Squicciarini D, Backer LC, Clark R, Abraham W, et al. Literature review of Florida red tide: Implications for human health effects. *Harmful Algae*. 2004;3(2):99-115.
6. Alcock F. An assessment of Florida red tide: Causes, consequences and management strategies. Marine Policy Institute, Mote Marine Laboratory, Sarasota, FL.; 2007.
7. Walsh JJ, Steidinger KA. Saharan dust and Florida red tides: The cyanophyte connection. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2001;106(C6):11597-612.
8. Wang R, Balkanski Y, Boucher O, Bopp L, Chappell A, Ciais P, et al. Sources, transport and deposition of iron in the global atmosphere. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2015;15(11):6247-70.
9. Wells M, Mayer L, Guillard R. Evaluation of iron as a triggering factor for red tide blooms. *Marine Ecology Progress Series*. 991:93-102.
10. Herndon JM. Air pollution, not greenhouse gases: The principal cause of global warming. *J Geog Environ Earth Sci Intn*. 2018;17(2):1-8.
11. Herndon JM. Science misrepresentation and the climate-science cartel. *J Geog Environ Earth Sci Intn*. 2018;18(2): 1-13.
12. Herndon JM. Fundamental climate science error: Concomitant harm to humanity and the environment *J Geog Environ Earth Sci Intn*. 2018;18(3):1-12.
13. Herndon JM. Role of atmospheric convection in global warming. *J Geog Environ Earth Sci Intn*. 2019;19(4):1-8.
14. Herndon JM, Whiteside M. Further evidence that particulate pollution is the principal cause of global warming: Humanitarian considerations. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*. 2019;21(1):1-11.
15. Petit J-R, Jouzel J, Raynaud D, Barkov NI, Barnola J-M, Basile I, et al. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*. 1999;399(6735): 429.

16. Available:https://en.wikipedia.org/wiki/Ice_core#/media/File:Vostok_Petit_data.svg
(Accessed May 22, 2019)
17. Available:<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vostok-ice-core-petit.png>
(Accessed May 22, 2019)
18. Andreae MO, Jones CD, Cox PM. Strong present-day aerosol cooling implies a hot future. *Nature*. 2005;435(7046):1187.
19. Gottschalk B. Global surface temperature trends and the effect of World War II: A parametric analysis (long version). arXiv:170306511.
20. Gottschalk B. Global surface temperature trends and the effect of World War II. arXiv:170309281.
21. Stocker T, Qin D, Plattner G, Tignor M, Allen S, Boschung J, et al. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 1535 pp. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, and New York; 2013.
22. Bastos A, Ciais P, Barichivich J, Bopp L, Brovkin V, Gasser T, et al. Re-evaluating the 1940s CO₂ plateau. *Biogeosciences*. 2016;13:4877-97.
23. Müller J. Atmospheric residence time of carbonaceous particles and particulate PAH-compounds. *Science of the Total Environment*. 1984;36:339-46.
24. McNeill JR. Something new under the sun:
An environmental history of the twentieth-century world (the global century series): WW Norton & Company; 2001.
25. Guttikunda SK, Jawahar P. Atmospheric emissions and pollution from the coal-fired thermal power plants in India. *Atmospheric Environment*. 2014;92:449-60.
26. Xie R, Seip HM, Wibetoe G, Nori S, McLeod CW. Heavy coal combustion as the dominant source of particulate pollution in Taiyuan, China, corroborated by high concentrations of arsenic and selenium in PM₁₀. *Science of the Total Environment*. 2006;370(2-3):409-15.
27. Herndon JM, Whiteside M. Contamination of the biosphere with mercury: Another potential consequence of on-going climate manipulation using aerosolized coal fly ash *J Geog Environ Earth Sci Intn*. 2017;13(1): 1-11.
28. Herndon JM, Williams DD, Whiteside M. Previously unrecognized primary factors in the demise of endangered torrey pines: A microcosm of global forest die-offs. *J Geog Environ Earth Sci Intn*. 2018;16(4):1-14.
29. Herndon JM, Whiteside M. Further evidence of coal fly ash utilization in tropospheric geoengineering: Implications on human and environmental health. *J Geog Environ Earth Sci Intn*. 2017;9(1): 1-8.
30. Yao Z, Ji X, Sarker P, Tang J, Ge L, Xia M, et al. A comprehensive review on the applications of coal fly ash. *Earth-Science Reviews*. 2015;141:105-21.
31. Roy WR, Thiery R, Suloway JJ. Coal fly ash: a review of the literature and proposed classification system with emphasis on environmental impacts. *Environ Geology Notes* #96; 1981.
32. Basu M, Pande M, Bhadoria PBS, Mahapatra SC. Potential fly-ash utilization in agriculture: A global review. *Progress in Natural Science*. 2009;19(10):1173-86.
33. Fisher GL. Biomedically relevant chemical and physical properties of coal combustion products. *Environ Health Persp*. 1983;47: 189-99.
34. Pandit GG, Sahu SK, Puranik VD. Natural radionuclides from coal fired thermal power plants –estimation of atmospheric release and inhalation risk. *Radioprotection*. 2011;46(6):S173–S9.
35. Tishmack JK, Burns PE. The chemistry

- and mineralogy of coal and coal combustion products. Geological Society, London, Special Publications. 2004;236(1): 223-46.
36. World Health Organization. Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease; 2016.
37. Pope A, Burnett R, Thun M, Thurston G. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. JAMA. 2002;287(9):1132-41.
38. Künzli N. The public health relevance of air pollution abatement. European Respiratory Journal. 2002;20(1):198-209.
39. Jeremy W. Air pollution and brain health: an emerging issue. Lancet. 2017;390: 1345-422.
40. Kilian J, Kitazawa M. The emerging risk of exposure to air pollution on cognitive decline and Alzheimer's disease—evidence from epidemiological and animal studies. Biomedical Journal; 2018.
41. Maher BA, Ahmed IAM, Karloukovski V, MacLauren DA, Foulds PG, et al. Magnetite pollution nanoparticles in the human brain. Proc Nat Acad Sci. 2016; 113(39):10797-801.
42. Whiteside M, Herndon JM. Aerosolized coal fly ash: Risk factor for neurodegenerative disease. Journal of Advances in Medicine and Medical Research. 2018;25(10):1-11.
43. Herndon JM. Aluminum poisoning of humanity and Earth's biota by clandestine geoengineering activity: Implications for India. Curr Sci. 2015;108(12):2173-7.
44. Herndon JM. Obtaining evidence of coal fly ash content in weather modification (geoengineering) through analyses of post- aerosol spraying rainwater and solid substances. Ind J Sci Res and Tech. 2016;4(1):30-6.
45. Herndon JM. Adverse agricultural consequences of weather modification. AGRIVITA Journal of agricultural science. 016;38(3):213-21.
46. Herndon JM, Whiteside M. California wildfires: Role of undisclosed atmospheric manipulation and geoengineering. J Geog Environ Earth Sci Intern. 2018;17(3):1-18.
47. Herndon JM, Whiteside M, Baldwin I. Fifty Years after “How to Wreck the Environment”: Anthropogenic Extinction of Life on Earth. J Geog Environ Earth Sci Intern. 2018;16(3):1-15.
48. Whiteside M, Herndon JM. Aerosolized coal fly ash: Risk factor for COPD and respiratory disease. Journal of Advances in Medicine and Medical Research. 2018; 26(7):1-13.
49. Whiteside M, Herndon JM. Coal fly ash aerosol: Risk factor for lung cancer. Journal of Advances in Medicine and Medical Research. 2018;25(4):1-10.
50. Whiteside M, Herndon JM. Previously unacknowledged potential factors in catastrophic bee and insect die-off arising from coal fly ash geoengineering Asian J Biol. 2018;6(4):1-13.
51. Whiteside M, Herndon JM. Aerosolized coal fly ash: A previously unrecognized primary factor in the catastrophic global demise of bird populations and species. Asian J Biol. 2018;6(4):1-13.
52. Field CB, Behrenfeld MJ, Randerson JT, Falkowski P. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. Science. 1998; 281(5374):237-40.
53. Behrenfeld MJ, O'Malley RT, Siegel DA, McClain CR, Sarmiento JL, Feldman GC, et al. Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. Nature. 006;444(7120):752.
54. Boyce DG, Lewis MR, Worm B. Global phytoplankton decline over the past century. Nature. 2010;466(7306):591.
55. Vallina SM, Follows M, Dutkiewicz S, Montoya JM, Cermeno P, Loreau M. Global relationship between phytoplankton diversity and productivity in the ocean. Nature

Communications. 2014;5:4299.

56. Wells ML, Trainer VL, Smayda TJ, Karlson BS, Trick CG, Kudela RM, et al. Harmful algal blooms and climate change: Learning from the past and present to forecast the future. *Harmful Algae*. 2015;49:68-93.
57. Tian R, Chen J, Sun X, Li D, Liu C, Weng H. Algae explosive growth mechanism enabling weather-like forecast of harmful algal blooms. *Scientific Reports*. 2018;8(1): 9923.
58. Glibert PM, Anderson DM, Gentien P, Granéli E, Sellner KG. The global, complex phenomena of harmful algal blooms; 2005.
59. Watson SB, Whitton BA, Higgins SN, Paerl HW, Brooks BW, Wehr JD. Harmful algal blooms. *Freshwater Algae of North America*: Elsevier. 2015;873-920.
60. Brooks BW, Lazorchak JM, Howard MD, Johnson MVV, Morton SL, Perkins DA, et al. Are harmful algal blooms becoming the greatest inland water quality threat to public health and aquatic ecosystems? *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2016;35(1):6-13.
61. Mazard S, Penesyan A, Ostrowski M, Paulsen I, Egan S. Tiny microbes with a big impact: the role of cyanobacteria and their metabolites in shaping our future. *Marine Drugs*. 2016;14(5):97.
62. Paerl H, HussMann J. Blooms like it hot. *Science*. 2008;320.
63. Kaur R, Goyal D. Heavy metal accumulation from coal fly ash by cyanobacterial biofertilizers. *Particulate Science and Technology*. 2018;36(4): 513-6.
64. Chapra SC, Boehlert B, Fant C, Bierman Jr VJ, Henderson J, Mills D, et al. Climate change impacts on harmful algal blooms in US Freshwaters: A screening-level assessment. *Environmental Science & Technology*. 2017;51(16):8933-43.
65. Palmer M, Good S, Haines K, Rayner N, Stott P. A new perspective on warming of the global oceans. *Geophysical Research Letters*. 2009;36(20).
66. Schmidtko S, Stramma L, Visbeck M. Decline in global oceanic oxygen content during the past five decades. *Nature*. 2017;542(7641):335.
67. Paul VJ. Global warming and cyanobacterial harmful algal blooms. *Cyanobacterial Harmful Algal Blooms: State of the Science and Research Needs*: Springer. 2008;239-57.
68. Morán XAG, López-Urrutia Á, Calvo-Díaz, Li WK. Increasing importance of small phytoplankton in a warmer ocean. *Global Change Biology*. 2010;16(3):1137-44.
69. Gobler CJ, Doherty OM, Hattenrath-Lehmann TK, Griffith AW, Kang Y, Litaker RW. Ocean warming since 1982 has expanded the niche of toxic algal blooms in the North Atlantic and North Pacific oceans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2017;114(19):4975- 80.
70. Moore SK, Trainer VL, Mantua NJ, Parker MS, Laws EA, Backer LC, et al., Editors. Impacts of climate variability and future climate change on harmful algal blooms and human health. *Environmental Health*; BioMed Central; 2008.
71. Peacock MB, Kudela RM. Evidence for active vertical migration by two dinoflagellates experiencing iron, nitrogen, and phosphorus limitation. *Limnology and Oceanography*. 2014;59(3):660-73.
72. Herndon JM, Hoisington RD, Whiteside M. Deadly ultraviolet UV-C and UV-B penetration to Earth's surface: Human and environmental health implications. *J Geog Environ Earth Sci Intern*. 2018;14(2):1-11.
73. Córdoba C, Munoz J, Cachorro V, de Carcer IA, Cussó F, Jaque F. The detection of solar ultraviolet-C radiation using KCl:Eu2+ thermoluminescence dosimeters. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 1997;30(21):3024.
74. D'Antoni H, Rothschild L, Schultz C, Burgess S, Skiles J. Extreme environments in the forests of Ushuaia, Argentina. *Geophysical Research Letters*. 2007;34(22).

75. Cabrol NA, Feister U, Häder D-P, Piazena H, Grin EA, Klein A. Record solar UV irradiance in the tropical Andes. *Frontiers in Environmental Science*. 2014;2(19).
76. Rai L, Mallick N. Algal responses to enhanced ultraviolet-B radiation. *Proc. Indian Nat. Sci. Acad. Part B*. 1998;64: 125-46.
77. Zepp RG, Callaghan TV, Erickson III DJ. Interactive effects of ozone depletion and climate change on biogeochemical cycles. *Photochemical & Photobiological Sciences*. 2003;2(1):51-61.
78. Basu S, Mackey K. Phytoplankton as key mediators of the biological carbon pump: Their responses to a changing climate. *Sustainability*. 2018;10(3):869.
79. O'Sullivan DW, Hanson AK, Miller WL, Kester DR. Measurement of Fe (II) in surface water of the equatorial Pacific. *Limnology and Oceanography*. 1991;36(8): 1727-41.
80. Xue L, Zhang Y, Zhang T, An L, Wang X. Effects of enhanced ultraviolet-B radiation on algae and cyanobacteria. *Critical Reviews in Microbiology*. 2005;31(2):79- 89.
81. Häder D-P, Williamson CE, Wängberg S-Å, Rautio M, Rose KC, Gao K, et al. Effects of UV radiation on aquatic ecosystems and interactions with other environmental factors. *Photochemical & Photobiological Sciences*. 2015;14(1) :108-26.
82. Vincent WF, Roy S. Solar ultraviolet-B radiation and aquatic primary production: damage, protection, and recovery. *Environmental Reviews*. 1993;1(1):1-12.
83. Joyce S. The dead zones: oxygen-starved coastal waters. *Environmental Health Perspectives*. 2000;108(3):A120-A5.
84. Diaz RJ, Rosenberg R. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*. 2008;321(5891): 926-9.
85. Altieri AH, Gedan KB. Climate change and dead zones. *Global Change Biology*. 2015;21(4):1395-406.
86. Solow AR. Red tides and dead zones: The coastal ocean is suffering from an overload of nutrients. *Oceanus*. 2005; 43(1):43-6.
87. Breitburg D, Levin LA, Oschlies A, Grégoire M, Chavez FP, Conley DJ, et al. Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *Science*. 2018;359(6371): eaam7240.
88. Rabalais N, Diaz RJ, Levin L, Turner R, Gilbert D, Zhang J. Dynamics and distribution of natural and human-caused hypoxia. *Biogeosciences*. 2010;7(2):585.
89. Weber TS, Deutsch C. Ocean nutrient ratios governed by plankton biogeography. *Nature*. 2010;467(7315):550.
90. Falkowski PG, Greene RM, Geider RJ. Physiological limitations on phytoplankton productivity in the ocean. *Oceanography*. 1992;5(2):84-91.
91. Bristow LA, Mohr W, Ahmerkamp S, Kuypers MM. Nutrients that limit growth in the ocean. *Current Biology*. 2017;27(11): R474-R8.
92. Carpenter SR, Caraco NF, Correll DL, Howarth RW, Sharpley AN, Smith VH. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*. 1998;8(3):559-68.
93. Anderson DM, Glibert PM, Burkholder JM. Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition, and consequences. *Estuaries*. 2002;25(4):704- 26.
94. Kudela R, Seeyave S, Cochlan W. The role of nutrients in regulation and promotion of harmful algal blooms in upwelling systems. *Progress in Oceanography*. 2010;55(1-2):122-35.
95. Glibert PM, Burford MA. Globally changing nutrient loads and harmful algal blooms: recent advances, new paradigms, and continuing challenges. *Oceanography*. 2017;30(1):58-69.
96. Heisler J, Glibert PM, Burkholder JM, Anderson DM, Cochlan W, Dennison WC, et al. Eutrophication and harmful algal blooms: A scientific consensus. *Harmful Algae*. 2008;8(1):3-13.

97. Pöschl U. Atmospheric aerosols: composition, transformation, climate and health effects. *Angewandte Chemie International Edition*. 2005;44(46):7520-40.
98. Kanakidou M, Myriokefalitakis S, Tsigaridis K. Aerosols in atmospheric chemistry and biogeochemical cycles of nutrients. *Environmental Research Letters*. 2018; 13(6):063004.
99. Duce R, Liss P, Merrill J, Atlas E, Buat-Menard P, Hicks B, et al. The atmospheric input of trace species to the world ocean. *Global Biogeochemical Cycles*. 1991;5(3):193-259.
100. Jickells T, Buitenhuis E, Altieri K, Baker A, Capone D, Duce R, et al. A reevaluation of the magnitude and impacts of anthropogenic atmospheric nitrogen inputs on the ocean. *Global Biogeochemical Cycles*. 2017;31(2):289-305.
101. Moreno N, Querol X, Andrés JM, Stanton K, Towler M, Nugteren H, et al. Physico-chemical characteristics of European pulverized coal combustion fly ashes. *Fuel*. 2005;84:1351-63.
102. Wang R, Balkanski Y, Boucher O, Ciais P, Peñuelas J, Tao S. Significant contribution of combustion-related emissions to the atmospheric phosphorus budget. *Nature Geoscience*. 2015;8(1):48.
103. Rowe CL, Hopkins WA, Congdon JD. Hexotoxicological Implications of Aquatic Disposal of Coal Combustion Residues In the United States: A review. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2002;80(3): 7-76.
104. Karakaş G, James A, Al-Barakati A. Prediction of fly-ash dispersion in the southern Black Sea: A preliminary modelling study. *Environmental Modeling & Assessment*. 2004;9(3):137-45.
105. Kress N, Golik A, Galil B, Krom M. Monitoring the disposal of coal fly ash at a deep water site in the eastern Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*. 1993;26(8):447-56.
106. Ogden DE, Sleep NH. Explosive eruption of coal and basalt and the end-Permian mass extinction. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2012; 109(1):59-62.
107. Grasby SE, Sanei H, Beauchamp B. Catastrophic dispersion of coal fly ash into oceans during the latest Permian extinction. *Nature Geoscience*. 2011;4(2): 104.
108. Brand U, Blamey N, Garbelli C, Griesshaber E, Posenato R, Angiolini L, et al. Methane Hydrate: Killer cause of Earth's greatest mass extinction. *Palaeoworld*. 2016;25(4):496-507.
109. Knoll AH, Bambach RK, Payne JL, Pruss S, Fischer WW. Paleophysiology and end-Permian mass extinction. *Earth and Planetary Science Letters*. 2007;256(3-4): 295-313.
110. Grice K, Cao C, Love GD, Böttcher ME, Twitchett RJ, Grosjean E, et al. Photic zone euxinia during the Permian-Triassic superanoxic event. *Science*. 2005; 307(5710):706-9.
111. Stanley SM. Estimates of the magnitudes of major marine mass extinctions in earth history. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2016;113(42): E6325-E34.
112. Poulton SW, Canfield DE. Ferruginous conditions: A dominant feature of the ocean through Earth's history. *Elements*. 2011;7(2):107-12.
113. Suloway JJ, Roy WR, Skelly TR, Dickerson DR, Schuller RM, Griffin RA. Chemical and toxicological properties of coal fly ash. Illinois: Illinois Department of Energy and Natural Resources; 1983.
114. Boyd PW, Jickells T, Law C, Blain S, Boyle E, Buesseler K, et al. Mesoscale iron enrichment experiments 1993-2005: Synthesis and future directions. *Science*. 2007;315(5812):612-7.
115. Mahowald NM, Engelstaedter S, Luo C, Sealy A, Artaxo P, Benitez-Nelson C, et al.

- Atmospheric iron deposition: global distribution, variability, and human perturbations; 2008.
116. Ito T, Nenes A, Johnson M, Meskhidze N, Deutsch C. Acceleration of oxygen decline in the tropical Pacific over the past decades by aerosol pollutants. *Nature Geoscience*. 2016;9(6):443.
 117. Matsui H, Mahowald NM, Moteki N, Hamilton DS, Ohata S, Yoshida A, et al. Anthropogenic combustion iron as a complex climate forcer. *Nature Communications*. 2018;9(1):1593.
 118. Myriokefalitakis S, Daskalakis N, Mihalopoulos N, Baker A, Nenes A, Kanakidou M. Changes in dissolved iron deposition to the oceans driven by human activity: A 3-D global modelling study. *Biogeosciences*. 2015;12(13):3973-92.
 119. Meskhidze N, Chameides W, Nenes A, Chen G. Iron mobilization in mineral dust: Can anthropogenic SO₂ emissions affect ocean productivity? *Geophysical Research Letters*. 2003;30(21).
 120. Li W, Xu L, Liu X, Zhang J, Lin Y, Yao X, et al. Air pollution–aerosol interactions produce more bioavailable iron for ocean ecosystems. *Science Advances*. 2017; (3):e1601749.
 121. Schroth AW, Crusius J, Sholkovitz ER, Bostick BC. Iron solubility driven by speciation in dust sources to the ocean. *Nature Geoscience*. 2009;2(5):337.
 122. Chen H, Laskin A, Baltrusaitis J, Gorski CA, Scherer MM, Grassian VH. Coal fly ash as a source of iron in atmospheric dust. *Environmental Science & Technology*. 2012;46(4):2112-20.
 123. Weber RJ, Guo H, Russell AG, Nenes A. High aerosol acidity despite declining atmospheric sulfate concentrations over the past 15 years. *Nature Geoscience*. 2016;9(4):282.
 124. Doney SC, Mahowald N, Lima I, Feely RA, Mackenzie FT, Lamarque J-F, et al. Impact of anthropogenic atmospheric nitrogen and sulfur deposition on ocean acidification and the inorganic carbon system. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2007;104(37):14580-5.
 125. Sarma V, Krishna M, Paul Y, Murty V. Observed changes in ocean acidity and carbon dioxide exchange in the coastal Bay of Bengal—a link to air pollution. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*. 2015;67(1):24638.
 126. Okubo A, Takeda S, Obata H. Atmospheric deposition of trace metals to the western North Pacific Ocean observed at coastal station in Japan. *Atmospheric Research*. 2013;129:20-32.
 127. Ullah H, Nagelkerken I, Goldenberg SU, Fordham DA. Climate change could drive marine food web collapse through altered trophic flows and cyanobacterial proliferation. *PLoS Biology*. 2018;16(1): e2003446.
 128. Komonweeraket K, Cetin B, Aydilek AH, Benson CH, Edil TB. Effects of pH on the leaching mechanisms of elements from fly ash mixed soils. *Fuel*. 2015;140:788-802.
 129. Zhou L, Tan Y, Huang L, Fortin C, Campbell PG. Aluminum effects on marine phytoplankton: implications for a revised Iron Hypothesis (Iron–Aluminum Hypothesis). *Biogeochemistry*. 2018; 139(2):123-37.
 130. Gillmore ML, Golding LA, Angel BM, Adams MS, Jolley DF. Toxicity of dissolved and precipitated aluminium to marine diatoms. *Aquatic Toxicology*. 2016;174:82-91.
 131. Shi R, Li G, Zhou L, Liu J, Tan Y. The increasing aluminum content affects the growth, cellular chlorophyll a and oxidation stress of cyanobacteria *Synechococcus* sp. WH7803. *Oceanological and Hydrobiological Studies*. 2015;44(3):343- 51.
 132. Liao WH, Yang SC, Ho TY. Trace metal composition of size-fractionated plankton in the Western Philippine Sea: The impact of anthropogenic aerosol deposition. *Limnology and*

Oceanography. 017; 62(5):2243-59.

133. Ho TY, Wen LS, You CF, Lee DC. The trace metal composition of size-fractionated plankton in the South China Sea: Biotic versus abiotic sources. *Limnology and Oceanography*. 2007;52(5): 1776-88.

134. Hanikenne M. *Chlamydomonas reinhardtii* as a eukaryotic photosynthetic model for studies of heavy metal homeostasis and tolerance. *New Phytologist*. 2003;159(2): 331-40.

135. Petsas AS, Vagi MC. Effects on the Photosynthetic Activity of Algae after Exposure to Various Organic and Inorganic pollutants. *Chlorophyll: IntechOpen*; 2017.

136. Duce RA, Galloway JN, Liss PS. The impacts of atmospheric deposition to the ocean on marine ecosystems and climate. *World Meteorological Organization (WMO) Bulletin*. 2009;58(1):61.

137. Thomas W, Hollibaugh J, Seibert D, Wallace Jr G. Toxicity of a mixture of ten metals to phytoplankton. *Mar Ecol Prog Ser*. 1980;2(3):212-20.

138. Paytan A, Mackey KR, Chen Y, Lima ID, Doney SC, Mahowald N, et al. Toxicity of atmospheric aerosols on marine phytoplankton. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2009;106(12): 601-5.

139. Huertas M, López-Maury L, Giner-Lamia J, Sánchez-Riego A, Florencio F. Metals in cyanobacteria: Analysis of the copper, nickel, cobalt and arsenic homeostasis mechanisms. *Life*. 2014;4(4):865-86.

140. Mulholland MR, Bernhardt PW, Heil CA, Ronk DA, O'Neil JM. Nitrogen fixation and release of fixed nitrogen by *Trichodesmium* spp. in the Gulf of Mexico. *Limnology and Oceanography*. 2006; 1(4):1762-76.

141. Richier S, Macey AI, Pratt NJ, Honey DJ, Moore CM, Bibby TS. Abundances of iron-binding photosynthetic and nitrogen-fixing proteins of *Trichodesmium* both in culture and in situ from the North Atlantic. *PLoS ONE*. 2012;7(5):e35571.

142. Walsh JJ, Jolliff J, Darrow B, Lenos J, Iroy S, Remsen A, et al. Red tides in the Gulf of Mexico: Where, when, and why? *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2006;111(C11).

143. Meskhidze N, Chameides W, Nenes A. Dust and pollution: A recipe for enhanced ocean fertilization? *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2005;110(D3).

144. Singh A, Agrawal M. Acid rain and its ecological consequences. *J Expt Biol*. 2008;29(1):15-24.

145. Karydis VA, Tsimpidi AP, Bacer S, Pozzer A, Nenes A, Lelieveld J. Global impact of mineral dust on cloud droplet number concentration. *Atmospheric Chemistry & Physics*. 2017;17(9).

146. Umo N, Jones J, Baeza Romero M, Lea-Langton A, Williams A, Plane J, et al. Ice nucleation by combustion ash particles at conditions relevant to mixed-phase clouds; 2014.

147. Behra P, Sigg L. Evidence for redox cycling of iron in atmospheric water droplets. *Nature*. 1990;344(6265):419.

148. Carmichael WW, Boyer GL. Health impacts from cyanobacteria harmful algae blooms: Implications for the North American Great Lakes. *Harmful Algae*. 2016;54:194-212.

149. Zhang T, He J, Luo X. Effect of Fe and EDTA on Freshwater Cyanobacteria Bloom Formation. *Water*. 2017;9(5):326.

150. Nürnberg GK, Dillon PJ. Iron budgets in temperate lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 1993; 50(8):1728-37.

151. Molot L, Watson S, Creed I, Trick C, McCabe S, Verschoor M, et al. A novel model for cyanobacteria bloom formation: The critical role of anoxia and ferrous iron. *Freshwater Biology*. 2014;59(6):1323-40.

152. Sorichetti RJ, Creed IF, Trick CG. Iron and iron-binding ligands as cofactors that limit cyanobacterial biomass across a lake trophic gradient. *Freshwater Biology*. 2016; 61(1):146-57.
153. Ahern KS, Ahern CR, Udy JW. In situ field experiment shows *Lyngbya majuscula* (cyanobacterium) growth stimulated by added iron, phosphorus and nitrogen. *Harmful Algae*. 2008;7(4):389-404.
154. Buesseler KO, Boyd PW. Will ocean fertilization work? *Science*. 2003; 300(5616):67-8.
155. Blaustein R. Fertilizing the Seas with Iron. *BioScience*. 2011;61(10):840-1.
156. Yoon J-E, Yoo K-C, Macdonald AM, Yoon H-I, Park K-T, Yang EJ, et al. Reviews and syntheses: Ocean iron fertilization experiments—past, present, and future looking to a future Korean Iron Fertilization Experiment in the Southern Ocean (KIFES) project. *Biogeosciences*. 2018; 15(19):5847-89.
157. Trick CG, Bill BD, Cochlan WP, Wells ML, Trainer VL, Pickell LD. Iron enrichment stimulates toxic diatom production in high- nitrate, low-chlorophyll areas. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2010;107(13):5887-92.
158. Allsopp M, Santillo D, Johnston P, editors. A scientific critique of oceanic iron fertilization as a climate change mitigation strategy. *Symposium on Ocean Iron Fertilization*; 2007.
159. Strong A, Chisholm S, Miller C, Cullen J. Ocean fertilization: Time to move on. *Nature*. 2009;461(7262):347.
160. Ito A. Atmospheric processing of combustion aerosols as a source of bioavailable iron. *Environmental Science & Technology Letters*. 2015;2(3):70-5.
161. Ito A, Myriokefalitakis S, Kanakidou M, Mahowald NM, Scanza RA, Hamilton DS, et al. Pyrogenic iron: The missing link to high iron solubility in aerosols. *Science Advances*. 2019;5(5):eaau7671.
162. Herndon JM. Some reflections on science and discovery. *Curr Sci*. 2015;108(11): 1967-8.
163. Häder D-P, Gao K. Interactions of anthropogenic stress factors on marine phytoplankton. *Frontiers in Environmental Science*. 2015;3:14.
164. Coelho FJ, Santos AL, Coimbra J, Almeida A, Cunha Â, Cleary DF, et al. Interactive effects of global climate change and pollution on marine microbes: The way ahead. *Ecology and Evolution*. 2013;3(6): 1808-18.
165. Louime C, Fortune J, Gervais G. Sargassum invasion of coastal environments: A growing concern. *Am J Environm Sci*. 2017;13(1):58-64.
166. Brooks MT, Coles VJ, Hood RR, Gower JF. Factors controlling the seasonal distribution of pelagic Sargassum. *Marine Ecology Progress Series*. 2018; 599:1-18.
167. Gower J, Young E, King S. Satellite images suggest a new Sargassum source region in 2011. 2013;4(8):764-73.
168. Sedwick PN, Church TM, Bowie AR, Marsay CM, Ussher SJ, Achilles K, et al. Iron in the Sargasso Sea (Bermuda Atlantic Time-series Study region) during summer: Eolian imprint, spatiotemporal variability, and ecological implications. *Global Biogeochemical Cycles*. 2005; 9(4).
169. Available:<https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R44871> (Accessed June 12, 2019)

170. Stoner NK. Working in partnership with states to address phosphorus and nitrogen pollution through use of a framework for state nutrient reductions. US Environmental Protection Agency, Memorandum; 2011.
171. Anderson D, editor HABs in a changing world: A perspective on harmful algal blooms, their impacts, and research and management in a dynamic era of climactic and environmental change. Harmful algae 2012: Proceedings of the 15th International Conference on Harmful Algae: October 29-November 2, 2012, CECO, Changwon, Gyeongnam, Korea/editors, Hak Gyoon Kim, Beatriz Reguera, Gustaaf M Hallegraeff, Chang Kyu Lee, M; 2014: NIH Public Access.
172. Kritzberg E, Ekström S. Increasing iron concentrations in surface waters—a factor behind brownification? Biogeosciences. 2012;9(4):1465-78.
173. Kim TJ. Prevention of harmful algal blooms by control of growth parameters. Advances in Bioscience and Biotechnology. 2018 ; 9(11):613-48.
174. Böhm J. Electrostatic precipitators: Elsevier Amsterdam; 1982.
175. Hutson ND, Krzyzynska R, Srivastava RK. Simultaneous removal of SO₂, NO_x, and Hg from coal flue gas using a NaClO₂-enhanced wet scrubber. Industrial & Engineering Chemistry Research. 2008; 7(16):5825-31.

© 2019 Whiteside et Herndon ; Cet article est en libre accès et distribué selon les termes de la licence Creative Commons Attribution (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), qui autorise l'utilisation, la distribution et la reproduction sans restriction sur tout support, à condition que l'œuvre originale soit correctement citée.

Historique de l'évaluation par les pairs :

L'historique de l'évaluation par les pairs de cet article est accessible ici :

<http://www.sdiarticle3.com/review-history/49509>