

AVIS

relatif à la gestion du risque sanitaire lié aux émissions toxiques provenant d'algues brunes échouées sur les côtes de La Martinique et La Guadeloupe

22 mars 2012

Vu la demande d'avis et de recommandations formulée par la Direction générale de la santé en date du 9 septembre 2011 et visant :

- la définition des seuils d'intervention relatifs aux concentrations mesurées en hydrogène sulfuré dans les cas d'expositions aiguës, sub-chroniques et chroniques ;
- les protocoles de mesures associés à ces seuils (tenant compte des moyens météorologiques actuellement disponibles) ;
- les mesures de gestion graduées, en fonction de ces seuils, permettant de réduire, limiter ou prévenir les impacts sur la santé des populations concernées (générale, voire de populations cibles si de telles populations sont identifiées) exposées aux émissions d'algues échouées, adaptées si nécessaire aux différentes situations locales (secteurs de mangrove, secteurs de côtes rocheuses urbanisées, etc.),

Après l'examen des documents et rapports suivants :

- Rapport d'expertise collective et avis transmis par l'Anses relatifs aux risques liés aux émissions gazeuses des algues vertes pour la santé des populations avoisinantes, des promeneurs et des travailleurs, juin 2011 ;
- Relevé de conclusions de la réunion téléphonique du 6 septembre 2011 organisée par le Direction générale de la santé – Département des urgences sanitaires (document interne) ;
- Surveillance des effets sanitaires liés aux échouages d'algues – Point de la CIRE Antilles-Guyane au 6 septembre 2011 ;
- Schémas de gestion proposés par l'ARS de La Martinique et la Cire Antilles-Guyane, septembre 2011 ;
- Etude menée par GWAD'AIR, association agréée de la surveillance de la qualité de l'air en Guadeloupe, chargée par l'ARS de mettre en place, en septembre 2011, une étude dans le but d'évaluer l'exposition au sulfure d'hydrogène des populations résidant à proximité des sites par ces algues ;
- Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, hydrogène sulfuré (H₂S), version 2-2 du 29 septembre 2011, Ineris ;
- Rapport "Beach Maintenance at the Padre Island National Seashore", par Mark Biel, Chief of Science and Resources Management at the Padre Island National Seashore¹ ;

¹ <http://video.google.com/videoplay?docid=6409472916990797231> (Sargassum symposium Corpus Christi 2008).

- Rapport “*Sargassum* and Sand Management on Nueces County Beaches”, par Blake Pettis Nueces County Parks and Recreation Department² ;
- Rapport “Galveston County Beach Maintenance”, par Lee Crowder Manager, Galveston County Road and Bridge Department³ ;
- Rapport “*Sargassum* Management in Port Aransas”, par David Parsons Planning and Projects Manager for the City of Port Aransas⁴,

et consultation de :

- Joe Fox, Professor of Mariculture, Environmental Science, Coastal & Marine System Science, Université du Texas Harte Research Institute Corpus Christi,
- Claude Bouchon, directeur du laboratoire « DYNAmique des Ecosystèmes CARaïbes et biologie des espèces inféodées » (DYNECAR), Université Antilles-Guyane.

Le rapporteur entendu,

le HCSP rappelle les points concernant :

1) Les algues brunes (*Sargassum*) : origine et dégradation

La **Sargasse** (*Sargassum*) est un genre d'algue brune dont les frondes peuvent atteindre plusieurs mètres de long (jusqu'à 12 mètres pour certaines espèces tropicales). Elle peut être fixée au fond par un thalle dit « coriace », mais certaines sargasses vivent parfois de manière exclusivement flottante ; principalement dans la mer du même nom, dans l'océan atlantique.

Source : Wikipedia



Sa structure est très aérée. Elle se rapproche dans son aspect, par certains points, du fucus.

Cette algue est commune dans de nombreuses régions du monde.

Des échouages réguliers ont lieu sur les côtes des Etats-Unis. Plusieurs laboratoires travaillent sur cette algue, aussi bien sur sa prolifération que sur son exploitation comme biomasse (compostage, méthanisation avec production de biogaz, épandage comme amendement agricole, stabilisation des plages et des dunes en se servant de *sargassum* comme base nutritive à une végétalisation des dunes) ou comme matière première pour de la chimie verte.

Elle est exploitée industriellement dans plusieurs pays (Japon, Chine ...).

Plusieurs congrès spécifiques à *Sargassum* se sont déroulés aux Etats-Unis. On peut par exemple citer *Sargassum* 2008, *Sargassum* 2009 où, outre les communications scientifiques traditionnelles, des collectivités locales, des parcs régionaux ou nationaux sont venus expliquer comme localement le problème était géré, avec les équipements employés.

2) Le mécanisme de production de gaz malodorants

Les gaz malodorants sont généralement issus d'une décomposition anaérobie de la matière organique. Lorsque des algues (comme toutes les matières organiques biodégradables) reposent sur une plage ou des rochers, elles vont se décomposer selon deux mécanismes :

² <http://video.google.com/videoplay?docid=-8153066428695155297> (*Sargassum* symposium Corpus Christi 2008).

³ <http://video.google.com/videoplay?docid=1830794839334860753> (*sargassum* symposium 2008 corpus Christi).

⁴ <http://video.google.com/videoplay?docid=5986298923525341991> (*sargassum* symposium 2208 Corpus Christi).

Par voie anaérobique

Cette dégradation par des micro-organismes de la matière organique aboutit à la production :

- d'un produit humide riche en matière organique partiellement stabilisée appelé digestat. Il est généralement envisagé le retour au sol du digestat après éventuellement une phase de maturation par compostage. C'est ce qui va rester sur la plage,
- de biogaz, mélange gazeux saturé en eau à la sortie du digesteur et composé d'environ 50 % à 70 % de méthane (CH₄), de 20 % à 50 % de gaz carbonique (CO₂) et de quelques gaz sous forme de traces (ammoniac-NH₃, azote-N₂, hydrogène sulfuré-H₂S).

La digestion anaérobique des algues brunes produit environ 0,6 % d'H₂S et environ 50 % de méthane (source : J. Fox). Ce mécanisme est utilisé en conditions contrôlées et en l'absence d'oxygène pour la production de gaz par méthanisation (encore appelée digestion anaérobique). Les inhibiteurs de cette digestion sont l'oxygène et certains composés chimiques.

Par voie aérobie

Il s'agit, lorsque l'action de l'homme est impliquée, du compostage. Cette voie nécessite de l'air dans son procédé. La matière carbonée fermentescible va se transformer essentiellement en gaz carbonique, sans réduction des composés soufrés et production d'H₂S. En dehors du gaz carbonique et de la vapeur d'eau, il y a aussi libération de petites quantités d'ammoniac. L'oxygène est le facteur essentiel. On estime que l'air devrait occuper au moins 50 % du volume du tas. L'anaérobiose commence lorsque le taux d'oxygène du tas est inférieur à 10 % ; elle prédomine au-dessous de 5 % d'oxygène-O₂ (air = 21 % O₂). Un compost mal aéré se traduira par l'apparition de gaz malodorants dus au changement de processus de décomposition de la matière (fermentation anaérobique). On trouvera ainsi de petites quantités d'H₂S, des acides gras volatils, etc.

Pour les **algues vertes**, la nature physique des algues conduit celles-ci à former une croûte étanche qui va emprisonner de la matière organique et créer une barrière à la diffusion de l'air dans la biomasse. Le mécanisme prédominant dans ce cas est de type anaérobique. La rupture de cette croûte (passage d'animaux ou de piétons, nettoyage mécanique des plages) libérera le biogaz, rejetant ainsi, outre le méthane, des gaz malodorants et toxiques, le plus connu étant l'hydrogène sulfuré. On trouvera aussi d'autres composés soufrés (mercaptans : méthylmercaptan, éthylmercaptan, diméthyldisulfure : DMDS), et des composés azotés (ammoniac principalement).

Pour les **algues brunes** la situation est très différente et le mécanisme anaérobique naturel est très restreint. En effet, sa structure mécanique aérée ne permet pas, naturellement, une dégradation anaérobique. Celle-ci n'apparaîtra essentiellement que pour une algue compressée, broyée et disposée en tas compacts, étanches à l'air et humides.

La production d'H₂S avec *sargassum* est très limitée. Une nuisance olfactive est constatée mais il n'a pas été mesuré de niveaux élevés d'H₂S, sans commune mesure avec les observations faites avec les algues vertes. Les deux événements ne sont pas comparables, en dehors du fait qu'il s'agit d'algues.

D'une manière générale, les mécanismes de dégradation aérobie et anaérobique ne sont pas immédiats. La biomasse devra, au préalable, être colonisée par les bactéries participant à ces mécanismes, et les inhibiteurs devront n'être qu'en quantité restreinte et la biomasse devra être humide.

Dans tous les cas, un ramassage rapide est souhaitable.

3) Les risques associés à l'hydrogène sulfuré

(Le paragraphe qui suit est extrait du rapport de l'Anses relatif aux algues vertes en Bretagne⁵.)

⁵ Anses. Rapport d'expertise collective « Algues vertes » : <http://www.anses.fr/Documents/AIR2010sa0175Ra.pdf>

C'est un gaz très toxique, un peu plus lourd que l'air, ce qui explique le risque aggravé en milieu confiné.

En atmosphère libre comme sur un littoral, on considère que le sulfure d'hydrogène se comporte comme l'air et cette propriété n'aggrave donc pas l'exposition.

Son odeur caractéristique d'œuf pourri se détecte dès 0,2 à 0,3 ppm (0,28 à 0,42 mg/m³) ; elle est nette pour 20 à 30 ppm (28 à 42 mg/m³), mais vers 100 ppm (140 mg/m³) l'odorat est anesthésié. C'est un irritant des voies respiratoires et un neurotoxique par asphyxie. La voie de pénétration de l'hydrogène sulfuré est la voie pulmonaire. Le gaz passe dans le sang où il existe sous plusieurs formes.

Lipophile, il diffuse rapidement et facilement à l'intérieur des tissus. Le principal mécanisme d'action toxique est l'inhibition directe par liaison au fer de l'enzyme cytochrome oxydase aa3, enzyme clé du fonctionnement de la mitochondrie. Il en résulte un blocage de la chaîne de transport des électrons des mitochondries, une diminution de l'utilisation de l'oxygène donc un métabolisme anaérobie avec production d'acide lactique. Ce sont les tissus à forte demande en oxygène comme le cerveau ou le cœur qui sont surtout sensibles à cette interruption du métabolisme par l'hydrogène sulfuré.

En outre, le sulfure d'hydrogène gazeux provoque en premier lieu une irritation de la muqueuse oculaire, qui est due à la dissolution du gaz H₂S dans le milieu humide que constitue l'épithélium de surface, suivie de très près par une irritation des voies respiratoires.

Après métabolisme, l'élimination est urinaire (90 %) principalement sous forme de sulfate, de thiosulfate et sulfite.

La gravité de l'intoxication dépend plus de la concentration que de la durée d'exposition.

Il existe des formes suraiguës avec perte de connaissance immédiate, brutale, décrite sous le nom de « coup de plomb des vidangeurs » ou « knock-down » avec arrêt cardiaque. Ces formes sont décrites pour des concentrations de l'ordre de 1 000 ppm (1 400 mg/m³). Pour mémoire, une telle concentration a été mesurée *in situ* par l'Ineris sur des tas d'algues vertes en décomposition sur la plage de Saint-Michel-en-Grève en 2009. A partir de 500 ppm (700 mg/m³), pour plusieurs minutes d'exposition, les signes neurologiques sont constants et peuvent comporter notamment un coma ; des troubles cardiovasculaires (hypotension, tachycardie, troubles du rythme cardiaque, ischémie du myocarde) surviennent également. Dès 200 ppm (280 mg/m³), l'exposition prolongée, de plus de dix minutes environ, s'accompagne de symptômes neurologiques tels que céphalées, vertiges, nystagmus, désorientation, troubles de la coordination, nausées, vomissements, asthénie intense.

Des concentrations modérées entre 50 et 200 ppm (70 à 280 mg/m³) s'accompagnent d'abord d'une irritation des muqueuses oculaires et respiratoires : photophobie, conjonctivite, rhinite, enrouement, toux, douleur thoracique. Des expositions prolongées (plusieurs heures) à ces concentrations peuvent s'accompagner d'une lésion cornéenne (kératite) et d'un risque d'altération durable de la vision.

Cependant, en ce qui concerne les kératites (« gas eye » ou « spinners eye »), le lien avec l'exposition au seul gaz hydrogène sulfuré (moins de 100 ppm, soit 140 mg/m³) tend à être abandonné au profit de l'hypothèse d'une co-exposition avec plusieurs gaz irritants (industrie rayon-viscose).

On décrit classiquement, dans 4 à 16 % des cas, un œdème pulmonaire lésionnel de survenue retardée, dès 250 ppm (350 mg/m³).

Pour une concentration de 100 ppm (140 mg/m³) pendant trente minutes, le travailleur peut, sans risque d'effets irréversibles et sans altération de ses capacités de fuite, se mettre en sécurité même en l'absence de protection respiratoire.

Pour de faibles niveaux d'exposition (10 ppm, soit 14 mg/m³), les effets neuropsychiques, cardiaques et sur la fonction respiratoire sont non décelables. Plusieurs auteurs ont étudié à

cette concentration les effets lors d'exercices physiques (50 % de la VO₂max) : aucune anomalie n'est décelée⁶.

Pour des expositions chroniques à des niveaux proches des valeurs limites établies pour les travailleurs, l'existence d'effets sur la santé est controversée. Des effets irritatifs des voies respiratoires, des troubles neuropsychiques sont parfois rapportés, mais les études disponibles ne permettent pas de tirer des conclusions définitives.

Du point de vue de la réglementation au travail, il existe des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) pour le sulfure d'hydrogène. Les VLEP sont des objectifs minimaux à ne pas dépasser sachant que l'exposition des travailleurs aux polluants de l'air doit être la plus faible possible. Ces VLEP sont des valeurs de concentration pour lesquelles il n'a pas été prévu d'atteinte organique ou fonctionnelle irréversible ou réversible mais prolongée chez les travailleurs exposés.

VLEP 15 minutes et 8 heures

Moyenne pondérée sur 8 h		Court terme (15 min)	
ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
5	7	10	14

Par ailleurs, l'InVS⁷ rappelle que l'ATSDR⁸ propose une VTR⁹ de 0,07 ppm soit 0,1 mg/m³ dérivée d'une étude d'exposition humaine contrôlée menée chez 10 sujets asthmatiques (7 hommes, 3 femmes) exposés à 2 ppm pendant trente minutes. Elle est dérivée du LOAEL de 2 ppm déterminé pour des variations supérieures à 30 % de la résistance spécifique des voies respiratoires chez 2 sur 10 des patients. Un facteur d'incertitude de 30 a été appliqué (3 pour la variabilité dans l'espèce humaine et 10 pour l'utilisation d'une LOAEL¹⁰ au lieu d'un NOAEL¹¹) [ATSDR, 1997].

L'OMS propose une concentration tolérable dans l'air assimilable à une VTR de 0,15 mg/m³ (0,11 ppm) en moyenne sur 24 heures à partir d'études d'exposition humaine. Elle est dérivée d'un LOAEL de 15 mg/m³ (11 ppm) pour l'irritation oculaire. Un facteur d'incertitude de 100 est appliqué (sans précision)¹².

Le HCSP constate :

- Que les communes régulièrement envahies par *Sargassum* depuis de nombreuses années sur la côte du Texas enlèvent rapidement et régulièrement les algues. Le niveau d'H₂S n'a pas conduit les autorités locales à mettre en place un plan complexe de surveillance.
- Que les algues brunes n'apparaissent pas dans les autres pays comme un réel problème sanitaire. En effet, ces algues brunes dès présence sur les côtes, sont ramassées et valorisées vers l'agriculture ou vers la chimie verte. Le problème n'apparaîtra que si le délai d'intervention entre l'invasion et l'élimination est trop long. L'invasion venant de la mer est prévisible.

⁶ INRS, 2011, Sulfure d'hydrogène Fiches toxicologique, FT 32 ; Ineris, 2011 : Sulfure d'hydrogène. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques ; Lauwerys R., 2007, Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles, Masson, 5e éd., 1 276 p.

⁷ <http://www.invs.sante.fr/publications/2005/dechets/pdf/annexe9.pdf>

⁸ ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry.

⁹ Valeur technique de référence.

¹⁰ LOAEL = Lowest Observed Adverse Effect Level (parfois en français DMENO pour Dose minimale avec effet nocif observé).

¹¹ NOAEL = No Observed Adverse Effect Level (parfois en français DSENO pour Dose sans effet nocif observé).

¹² WHO, World Health Organization. Principles for the assessment of risks to human health from exposure to chemicals. Geneva : WHO, United Environmental Programme. International Labor Organization, 1999.

- Que les valeurs d'H₂S mesurées (technique par tubes) sont quasi totalement non détectables (sur 153 mesures : 1 atteint 0,5 ppm, 6 donnent 0,2 ppm et les autres (146) sont inférieures au seuil de détection des tubes avec < 0,2 ppm).
- Que les tubes employés sont les tubes les plus performants commercialisés à ce jour et ils sont employés dans le monde entier.
- Que les valeurs mesurées avec les tubes passifs (moyenne 7 jours) se situent en quatre endroits (Ville de Le Robert, quartier Courbarit et Pointe Savane ; Quartier Cap Est à François et quartier Le Cherry à Diamant) au dessus de la VTR chronique de 0,02 ppm.

Le HCSP recommande en conséquence qu'un plan d'action intégrant aussi une aire de stockage et une filière de valorisation soit mis en place au niveau départemental.

Le Haut Conseil de la santé publique donne les avis suivants aux questions posées :

- **Définition des seuils d'intervention relatifs aux concentrations mesurées en hydrogène sulfuré dans les cas d'expositions aiguës, sub-chroniques et chroniques**

Les valeurs de VTR chroniques (0,02 ppm) et VTR aiguës (0,07 ppm) sont mondialement retenues.

Toutefois, les moyens analytiques normaux et immédiats de terrain (tubes actifs et détecteurs portables) ne permettent pas de mesurer H₂S au niveau de la VTR.

Les tubes passifs donnent des résultats après généralement une semaine, ce qui laisse le temps aux algues d'évoluer ; ils ne permettent pas de piloter efficacement l'action publique.

Compte tenu de la très faible émission en H₂S pour des sargasses récemment échouées et se trouvant encore dans leur état naturel, le HCSP propose le seuil de 0,2 ppm (mesure par tubes Dräger ou équivalent ou détecteurs portables) à 5 mètres des échouages, au-delà duquel sera délivrée une information au public et préparé le chantier d'enlèvement des algues.

- **Les protocoles de mesures associés à ces seuils (tenant compte des moyens métrologiques actuellement disponibles)**

Il existe deux grandes familles de moyens analytiques :

- Les analyseurs de routine basés sur les tubes directs ou des détecteurs individuels avec alarme. Ces analyseurs sont utilisés par les personnes travaillant régulièrement dans un environnement potentiellement contaminé par H₂S (personnel des raffineries de pétrole, égoutiers, exploitants de stations d'épuration...).
- Les analyseurs portables à haute performance nécessitant un suivi plus complexe. Seuls ces derniers peuvent rechercher H₂S au niveau de la VTR chronique. Ils reposent sur des capteurs électrochimiques plus performants ou sur de la micro-chromatographie en phase gazeuse (μ GC).

Le HCSP recommande pour le terrain :

- L'utilisation de tubes de mesure (plage 0,2-5 ppm) et de tubes 0,5-15 ppm pour toutes les études préliminaires. Les tubes devront provenir de fournisseurs reconnus en Europe. Les protocoles d'utilisation des tubes seront ceux des fabricants.
- L'utilisation de détecteurs portables individuels (0-100 ppm) avec seuils d'alarme à 10 ppm et alarme sonore.

Les détecteurs seront périodiquement calibrés à l'air et à l'H₂S. La plupart des réglementations nationales prescrivent aux utilisateurs de tester régulièrement leurs équipements avec des gaz de concentrations connues (NF EN 45544-4).

Les autorités devront aussi s'équiper au minimum d'un analyseur plus performant capable de couvrir une plage de mesure comprise entre 3 ppb et 10 ppm sur chaque île. Les moyens analytiques seront à compléter des moyens de calibration.

- **Les mesures de gestion graduées, en fonction de ces seuils, permettant de réduire, limiter ou prévenir les impacts sur la santé des populations concernées** (population générale, voire populations cibles si de telles populations sont identifiées) exposées aux émissions d'algues échouées, adaptées si nécessaire aux différentes situations locales (secteurs de mangrove, secteurs de côtes rocheuses urbanisées, etc.).

Rappelant que le niveau réel de production d'H₂S est très faible et sa concentration mesurée au niveau du stockage reste de l'ordre de 1 ppm, et considérant qu'aucun pays soumis à ce jour à des échouages de *Sargassum*, tant en Europe qu'en Amérique du Nord ou dans les Caraïbes, n'a mis en place de politique restrictive vis-à-vis des non-professionnels,

Le Haut Conseil de la santé publique émet un avis favorable sur la proposition de l'ARS Martinique du 27 juillet 2011 pour la gestion du risque sanitaire :

- pour des valeurs entre 0,2 et 1 ppm sur les plages à proximité des échouages d'algues : mise en place du chantier d'enlèvement des algues et information du public ;
- pour des valeurs entre 1 et 5 ppm sur les plages : information du public (notamment accès déconseillé aux personnes sensibles et fragiles) ; enlèvement immédiat des algues.
- pour des valeurs supérieures à 5 ppm sur les plages : accès réservé aux professionnels équipés de moyens de mesure individuels avec alarmes ; mesures d'H₂S au niveau des habitations riveraines.

Le présent avis est strictement limité aux aspects sanitaires pour l'homme. Il ne prend pas en compte les aspects environnementaux, économiques associés aux algues et aux nuisances olfactives autres que sanitaires.

Le Haut Conseil de la santé publique souligne par ailleurs qu'en milieu urbain et rural, il existe de nombreuses sources d'H₂S (déchèteries, compostage individuel, poubelles, stations service, agriculture, stockage de bagasse, centrale thermique fonctionnant avec de la biomasse, unités de méthanisation) et que le bruit de fond peut se situer au niveau des VTR chroniques ou aiguës.

La CSRE a tenu séance le 22 mars 2012 : 9 sur 16 membres qualifiés votants étaient présents ; 0 conflit d'intérêt, le texte a été approuvé par 9 votants, 0 abstention, 0 vote contre.

Avis produit par la Commission spécialisée Risques liés à l'environnement

Le 22 mars 2012

Haut Conseil de la santé publique

14 avenue Duquesne

75350 Paris 07 SP

www.hcsp.fr