

Gérer les déchets plastiques dans les Océans

Solution au «Great Pacific Garbage Patch»

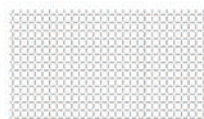


© surfrider foundation

Anthony Pisano

Projet 1^{er} Master - Design Industriel
Professeurs: D. Gangolf - V. Klinkenberg

Années 2012-2013



saint-luc
ÉCOLE SUPÉRIEURE DES ARTS



Gérer les déchets plastiques dans les océans

Solution au «Great Pacific Garbage Patch»

Remerciements

Je tiens à remercier les différents personnes et tiers qui m'ont aidé à réaliser cette analyse et à développer mon projet. Consultés en tant qu'expert ou pour leur collaboration d'une manière ou d'une autre. Particulièrement à Mr Michel, directeur et conservateur de l'Aquarium-Museum de Liège, consulté en tant que biologiste marin. À Greenpeace Belgium et à la NOAA qui m'ont mis à disposition leurs rapports d'études. À Mr Phillipe, employé chez Ferderplast et consulté comme spécialiste dans le traitement des déchets plastiques. À Ifremer d'avoir répondu à mes questions, ainsi qu'à Mr Théates (designer) et Mme Dembour (journaliste) pour leur implication et leur aide.

Introduction	5
Historique	
Histoire & essor des matières plastiques	6
Histoire de la pollution	9
Le plastique en chiffres	11
Contexte	
Etude du problème	12
Etude du phénomène «The Great Pacific Garbage Patch»	12
Les origines	12
Les faits actuels	15
Les conséquences	19
Localisation du phénomène	26
Etude du milieu marin	28
Généralités	28
Océanographie	28
Chimie : l'eau de mer	28
Physique : l'eau en mouvement	29
Biologie : la vie marine	30
Socio-culturel	
Gestion des déchets (municipaux) à travers le monde	33
L'Europe	33
L'Amérique	34
Amérique du Nord (USA)	34
Amérique du Sud	34
L'Afrique	35
L'Asie	36
L'Océanie	36

Fonctionnalités

Etude des techniques de valorisation des plastiques	38
Quelques chiffres (Europe)	38
Les techniques de valorisation des déchets plastiques	40
La valorisation énergétique	40
Le recyclage	41
Le recyclage mécanique	41
Le recyclage chimique	42
Autres modes de valorisation	42
Etude des énergies renouvelables	44
Quelques chiffres	44
La mer, source d'énergies	44
L'énergie hydrolienne	45
L'énergie marémotrice	47
L'éolien en mer	48
L'énergie houlomotrice	49
L'énergie thermique des mers	50
L'énergie osmotique	51

Techniques

Adaptation au milieu marin	52
Gestion des déchets	54
Protection de la faune et la flore	55



Economie & législatif

Economie	56
Le marché de la plasturgie (Europe)	56
Coût du traitement des déchets	57
Législatif	57
Réglementation du traitement des déchets	57
Lutte contre la pollution industrielle	58
La protection marine	58
Législations internationales	59
Délimitations océaniques	60

Ergonomie	61
-----------	----

Conclusion	62
------------	----

Cahier des charges	63
--------------------	----

Bibliographie	66
---------------	----

1997, date à laquelle on découvre une immense zone de déchets plastiques tournoyants au nord-est de l'océan Pacifique. Aujourd'hui, elle s'étend sur environ 35 millions de km²...

Il y a quelque temps de ça, je revois une émission de Nicolas Hulot. Comme d'autres avant lui, il évoque ce problème : à quel point il est dangereux pour l'environnement, les milliers d'animaux marins qui en meurent et notre responsabilité face aux problèmes que nous créons... C'est dans ces conditions que l'envie me vient : « il faut vraiment faire quelque chose à ça ! ». Une rapide recherche sur internet – premier constat : ce ne sont pas les informations sur le problème qui manquent... Mais qu'en est-il des solutions ? À première vue, pas grand-chose.

Sensibilisé aux initiatives écologiques et environnementales depuis toujours, il était évident pour moi que mon projet reste en accord avec ces convictions. Développer des projets écoresponsables est selon moi l'avenir du design, on ne peut plus concevoir un objet sans se demander quel impact environnemental il aura.

Cette analyse parcourt les différents éléments indispensables à l'établissement du projet. D'abord un bref historique afin de situer dans le temps l'origine de la pollution plastique. Vient ensuite l'aspect contextuel afin d'exposer le problème des déchets dans les océans et pour mieux comprendre le biotope marin. Un aspect socio culturel nous permettra de comprendre les mises en place et le comportement humain face aux déchets à travers le Monde. Ensuite, une étude sur les différentes techniques de traitement des déchets et des énergies marines exploitables. À la suite de ça viennent les différents moyens techniques à considérer pour élaborer le projet. J'aborde pour terminer, de manière générale, le marché de la plasturgie et du traitement des déchets ainsi que les différentes législations en vigueur sur la protection de l'environnement et sur la gestion des déchets ainsi que le point ergonomique.





Histoire & essor des matières plastiques

C'est en 1870 que la première matière plastique est synthétisée : le « Celluloïd ». Ce sont les frères Hyatt qui en sont les inventeurs. D'autres avant eux se sont essayé à la polymérisation, surtout à partir de matières naturelles comme le caoutchouc, découvert au XVIIIe siècle, la cellulose ou la caséine. On retrouve d'ailleurs l'utilisation de cette dernière depuis l'époque des pharaons d'Égypte.

Très vite, ces nouvelles matières vont trouver leur domaine de prédilection dans une utilisation domestique. La « Galalithe » est la première matière à être utilisée dans ce domaine. Elle est obtenue à partir de la caséine du lait, d'où son appellation « pierre de lait ». Ses propriétés sont déjà multiples et surpassent celles de matières naturelles. Plus dure que la corne, plus brillante que l'os, plus soyeuse que l'ivoire ; ses premières utilisations sont surtout destinées à des produits de luxe tels que des boules de billard, des bijoux, des stylos, des boutons de manchettes, etc. Ces premières matières « plastiques » vont donc essentiellement servir de matière de remplacement aux matières naturelles citées plus haut dans un souci essentiellement économique. Ce polymère est toujours utilisé aujourd'hui pour imiter l'ivoire.

Le début du XIXe siècle sera propice au développement des matières plastiques. Ce sont des centaines de chimistes, en Europe et aux USA, qui vont travailler principalement sur des procédés de polymérisation desquels découleront des matières plastiques plus au moins intéressantes. C'est dans ces années que des plastiques bien connus comme le polyéthylène (PE), le polychlorure de vinyle (PVC) ou le polyméthacrylate de méthyle (PMMA) sont inventés. Encore bien loin des préoccupations de fabrication industrielle ou même des possibilités d'utilisation, le plastique n'en est qu'à ses balbutiements contrairement à d'autres matériaux comme les métaux qui connaissent, eux, un enclin dicté par la révolution industrielle.

Ce développement et surtout cet intérêt pour le plastique s'expliquent par un facteur majeur : le pétrole. Il devient une matière première moins chère et plus facile à travailler que le charbon ou le bois qui servaient au travail des autres matériaux. C'est le début de la pétrochimie à proprement parlé.

Peigne en galalithe
début XXe siècle



La fin de la Seconde Guerre mondiale marque, elle, le véritable essor du plastique. L'après-guerre engendre un temps de pénurie et de reconstruction. Elle marque aussi une volonté de produire : produire plus et rapidement. On attend des plastiques qu'ils remplissent ces tâches et qu'ils se substituent aux autres matériaux tels que le bois, le métal, le verre et même les tissus. Les polyamides (PA), le polystyrène (PS), le polyéthylène haute et basse densité (PEHD - PELD), le polypropylène (PP), les élastomères, etc. sont autant de nouvelles matières plastiques inventées dans cette dynamique. La course aux performances est le mot d'ordre.



Masque à gaz (2e G-M)

Le PS permet de remplacer le verre des visières

Ces nouveaux plastiques sont conçus à partir d'applications bien précises et non plus de manière hasardeuse ou résultant d'expériences chimiques comme l'étaient les premiers. C'est ainsi que le PS sera d'abord un composant essentiel des masques à gaz et des bombes avant de connaître d'autres utilisations. L'innovation est également réalisée au niveau des techniques de fabrication et d'industrialisation. Le plastique est devenu un matériau à privilégier et à l'origine des nombreuses avancées techniques de cette époque.

Les produits en matière plastique trouvent désormais leur place de la cuisine à l'aviation en passant par la mode ou l'automobile. Ils se sont tellement diversifiés que leurs limites et leurs utilisations paraissent infinies. Rapide, économique, efficace, résistant, facile à entretenir... Les plastiques semblent avoir tenu toutes leurs promesses !

Après les années 60, l'engouement de ce nouveau matériau ralentit. Il n'y a plus de découvertes majeures, les chercheurs vont améliorer les procédés de transformation et s'attacher à exploiter toutes les propriétés des plastiques. De nouveaux horizons vont s'ouvrir pour des produits de haute technologie : la santé, les transports, les loisirs, la bureautique, les sports, le conditionnement... Les plastiques sont devenus le matériau industriel de référence dans la production de grandes séries, de pièces de précision ou encore de faible coût de production.



Les plastiques permettent aujourd'hui aussi bien d'alléger une voiture que de remplacer une articulation en chirurgie, ils sont de plus en plus performants et leur avenir n'a de limite que celle de l'imagination des chercheurs. Les innovations des procédés de fabrication permettent de créer de nouveaux polymères en maîtrisant encore mieux leur structure moléculaire et en améliorant leurs propriétés mécaniques. Ils répondent mieux aux exigences spécifiques des concepteurs qui les utilisent dans des applications innovantes et de hautes technologies.



Une voiture compte environ 130kg de PP

Qu'en est-il de son avenir ?

À l'heure actuelle, le plastique est devenu « la bête noire » des écologistes et autres défenseurs de l'environnement. Accusé d'être toxique, dangereux pour l'environnement, mal géré ou encore issu d'une énergie non renouvelable ; le plastique ne paraît pas être en accord avec la tendance écologique de ces dernières années. Et pourtant, il ne suffit que d'aller faire un tour à la foire du plastique pour découvrir les premiers prototypes de plastiques biodégradables ou conçus à partir de matières organiques. D'autres de ses ardents défenseurs diront que l'empreinte écologique d'une pièce de plastique est moins importante que si celle-ci était en bois ou encore que la toxicité reste bien inférieure à un panneau de MDF... Maintenant que la course à l'innovation n'est plus de mise, on peut constater un intérêt et un développement dans ces « plastiques écolos » et c'est sûrement ça, l'avenir du plastique...

Historique de la pollution

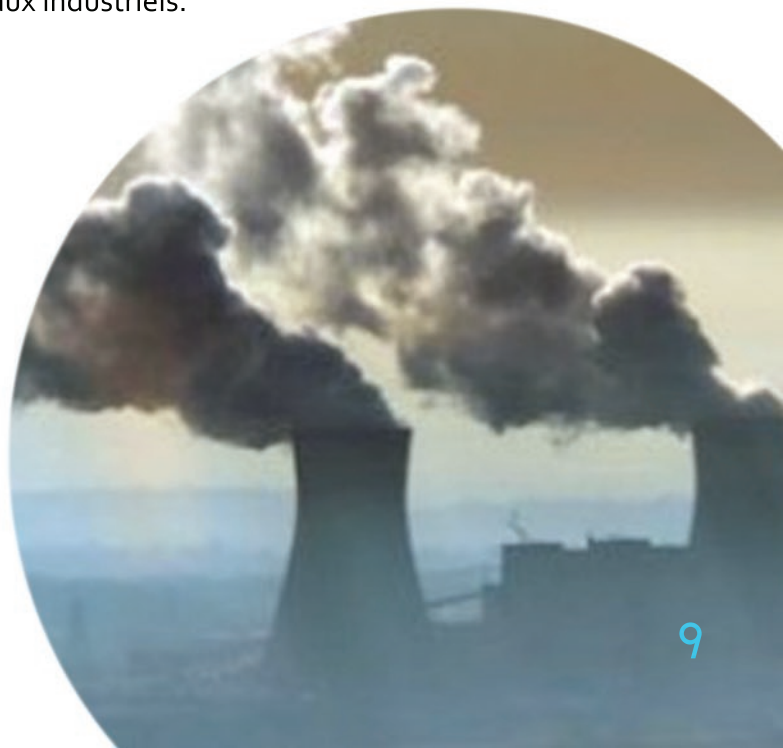
La pollution désigne la dégradation d'un biotope par l'introduction, généralement humaine, de substances chimiques ou organiques, gènes (lumière artificielle par ex.) ou de radiation qui ont des effets plus ou moins néfastes sur l'écosystème.

La pollution semble donc être aussi ancienne que l'Homme. Cependant, on lie les premières grandes pollutions humaines à la révolution industrielle, permises par la machine à vapeur et le charbon.

C'est après la Seconde Guerre mondiale qu'une conscience des répercussions des activités humaines sur l'environnement voit le jour. En parallèle se développent les premiers mouvements écologiques et l'écologie elle-même. D'abord dans un souci de santé et sanitaire, les premières mesures sont prises. Des études scientifiques démontrent alors les effets néfastes de certains produits industriels sur la santé. Les industries sont tenues de respecter des nouvelles chartes en matière de pollution. Ces premières réglementations permettent le développement de nouvelles techniques de fabrication, la suppression de produits trop dangereux, etc. On voit apparaître, à cette époque, la naissance des initiatives en faveur de l'environnement.

Plus tard, l'avancée des techniques de recherche scientifique va permettre la révélation de pollutions insoupçonnées (pollution des sols, pollution atmosphérique...). Les premiers dénonciateurs et conscientiseurs sont les mouvements écologiques, de plus en plus nombreux, comme le célèbre mouvement hippies des années 60. Le développement de la société de consommation et sa production infernale provoque également son lot de pollution et d'ouverture de consciences. L'écologie n'est plus une affaire de sécurité humaine, mais un respect environnemental sous toutes ses formes.

Aujourd'hui, on constate que le schéma est resté quasi identique. Les avancées scientifiques, qui permettent des analyses plus poussées, et les secteurs d'activités humains, de plus en plus diversifiés, mettent à jour des nouvelles sources de pollution. Les principaux dénonciateurs restent les mouvements écologiques qui entraînent de nouvelles réglementations surtout aux industriels.





La tendance écologique n'a jamais été aussi importante que ces dernières années. Désormais, chacun peut aider à la protection de l'environnement à son échelle. Les avancées technologiques et la sensibilisation de masse n'y sont pas pour rien. Les plans environnementaux font partie des programmes gouvernementaux et les différentes aides économiques visent à réduire au maximum les pollutions humaines.



Qu'en est-il des plastiques ?

La pollution des plastiques débute presque en parallèle à sa production. Ils résistent au Temps, à de nombreuses contraintes et au processus de biodégradation naturel. Leur traitement en fin de vie reste donc difficile. Le développement important des copolymères ne favorise pas non plus leur recyclage. Bref, les matières plastiques sont avant tout développées pour leurs propriétés et encore trop peu dans une réflexion visant à faciliter leur traitement en fin de vie. Leur principale pollution est donc causée par les déchets difficiles à traiter qu'ils deviennent.

Mais ce n'est pas tout, les substances chimiques qui les constituent peuvent être dangereuses et néfastes à l'environnement. Le bisphénol encore présent dans certains polycarbonates (PC) ou le chlore du PVC sont des exemples de ces substances qui se sont à l'origine de pollution des sols ou dangereuses pour la santé.

Issu de l'industrie pétrochimique, le pétrole, qui constitue sa matière première, est lui aussi au cœur de nombreuses polémiques environnementales. Il suffit de se souvenir des dégâts causés par la plateforme BP en 2010...

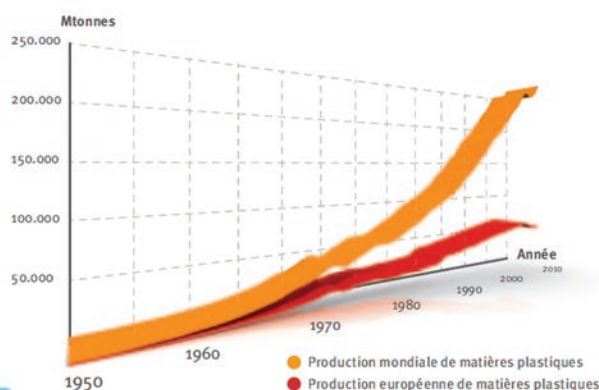
On l'aura compris, le plastique a encore du chemin à faire en matière d'écologie... Cependant, la volonté d'inverser la tendance est bien présente et le plastique ne peut que nous surprendre... ?

Le plastique en chiffres...

- 700 types de plastique différents répartis dans 18 familles de polymères
- 265 millions de tonnes de matières plastiques produites en 2011, dont 60 millions par l'Europe
- Une augmentation de production de 9% en moyenne chaque année
- L'industrie plastique emploie 1,6 million de travailleurs
- La plasturgie européenne réalise un chiffre d'affaire d'environ 140 milliards d'euros par an
- 8% de la consommation de pétrole est destinée au plastique
- On compte environ 1g de pétrole pour 1g de plastique
- Un Européen consomme une moyenne de 92kg de matière plastique par an (estimé à 140kg d'ici 2015)
- Les déchets plastiques représentent 11% de nos déchets domestiques
- 1/3 des plastiques ne sera utilisé qu'une seule fois (emballages)
- 51% des plastiques seront recyclés ou valorisés

Production de matières plastiques

1950	1976	1989	2002	2009	2010
1,7	47	99	204	250	265
0,35	19,8	27,4	56,1	55	57



Etude du problème

Explication du phénomène

«The Great Pacific Garbage Patch»

Les origines

C'est lors d'une de ces nombreuses expéditions scientifiques que l'océanographe Charles Moore découvre ce qu'il appellera plus tard « The Great Pacific Garbage Patch » (GPGP). En 1997, partant d'Hawaii, il décide de rejoindre les côtes californiennes par une zone située au nord du Pacifique. Cette zone est caractérisée par une rotation des courants marins et est normalement évitée par les marins à cause de ses vents légers.



Charles Moore

À bord de son catamaran, l'océanographe découvre une des plus grandes pollutions plastiques océaniques. Cette zone qu'il traverse est recouverte de déchets plastiques. Tous les déchets plastiques flottants semblent converger vers cet endroit. Il y trouve de tout : filets de pêche, bouées, bouteilles, bouchons, contenants, sachets, brosses à dent, briquets, etc. Ce qui l'interpelle particulièrement, ce n'est pas la taille impressionnante de certains déchets, mais ces milliards de particules de plastiques qui flottent juste sous la surface de l'eau...

Ces « microplastiques » (< 5 mm) ne sont que des fragments d'objets plus gros. Ceux-ci ont été principalement « photodégradés » c'est-à-dire qu'ils se sont dégradés par l'absorption de photons présents dans certaines ondes émises par le soleil. Les matières plastiques communes ne sont pas biodégradables et ne se minéralisent pas dans l'océan. Ils se décomposent donc en particules de plus en plus petites jusqu'à devenir invisible à l'œil, mais restent bien présents ! Les vagues, les ultraviolets et la corrosion sont d'autres facteurs expliquant cette transformation.

Qui sont les responsables ?

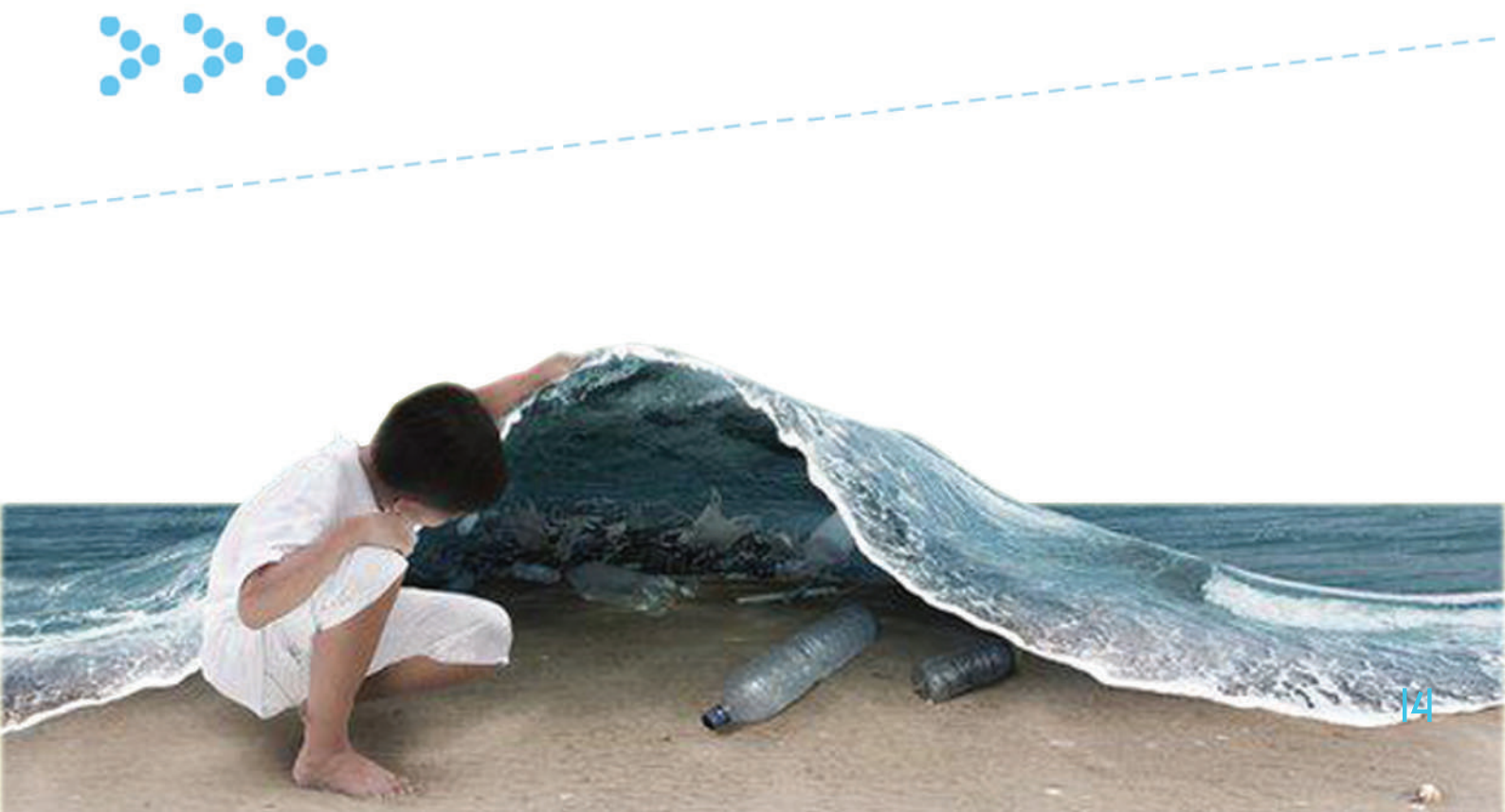
Selon Greenpeace, sur 100 millions de tonnes de plastiques produits, 10% finiront dans les océans. The United Nations Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution (GESAMP) estime que 80% de ces déchets sont terrestres et seraient principalement issus de la consommation domestique. Les 20% restants viendraient de bateaux, de la pêche ou bien de plateformes marines.

En ce qui concerne les sources terrestres, Greenpeace a pu établir 4 groupes majeurs responsables de la provenance de ces déchets :

- Les collecteurs d'eaux usées et pluviales qui se déversent directement dans la mer ou les cours d'eau sans traitement d'épuration. Ces eaux transportent tous les déchets ramassés dans la rue et notamment de nombreux plastiques. Ce problème peut également se produire même avec un système de traitement des eaux usées. Lors de fortes pluies, ces systèmes sont parfois surchargés et rejettent alors de l'eau non traitée dans les cours d'eau.
- Les touristes côtiers qui abandonnent, sur les plages, des déchets d'emballages alimentaires, de contenants de boisson ou de crème solaires, des sacs ou encore des jouets de plage. Tous seront emportés par les marées. De même que tous les autres déchets jetés dans la nature et qui rentrent en contact avec un cours d'eau deviendront des débris marins.
- Les ruissellements provenant de décharges, situées en zones côtières, apportent également leurs lots de débris marins. Ce phénomène est surtout visible aux États-Unis où plusieurs estuaires sont pollués de cette manière. S'ajoute à ça, la perte de ces déchets lors de leur transport ou des déversements illégaux dans les zones marines.
- Les produits de l'industrie plastique deviennent eux aussi des débris marins s'ils sont mal éliminés ou perdus lors des transports ou des chargements/déchargements en zone portuaire. Un exemple bien connu : les granules de matière première. Elles sont de plus en plus présentes dans la pollution plastique océanique.

Pour les déchets issus de l'activité marine, Greenpeace a identifié les groupes suivants :

- Les déchets liés à la pêche commerciale qui se compose de filets, lignes de pêche, casiers de pêche, caisses d'appâts, etc. Ils sont soit accidentellement perdus ou délibérément jetés dans l'océan.
- Les bateaux de transport de marchandises, militaires, de recherches, de croisière ou des plaisanciers peuvent accidentellement perdre ou délibérément jeter des déchets en mer.
- Les activités sur les plates-formes pétrolières et gazières peuvent générer des éléments qui sont délibérément ou accidentellement libérés dans l'environnement marin. On retrouve dans ces déchets, des casques, des gants ou encore des fûts de stockage.



Les faits actuels

L'étendue du phénomène est difficilement quantifiable. Sa taille diffère d'une source à une autre. La fondation pour la recherche marine « Algalita » de Charles Moore, l'une des plus impliquées dans l'étude du problème, estime son étendue sur 35 millions de km².

Un phénomène invisible ?

On pourrait penser qu'un phénomène d'une telle ampleur est visible depuis l'espace et que des photos satellites permettraient de mesurer son étendue, et pourtant il n'en est rien.

La principale explication : une déformation populaire et exagérée par les médias. À grand renfort d'images-chocs, souvent totalement hors sujet, ou lorsqu'on lit certains articles on imagine une immense plaque de déchets compacts s'apparentant littéralement à une couverture de déchets flottants. On comprend rapidement leurs motivations : des titres accrocheurs comme « Le Septième continent » ou « L'île de plastique » permettent de sensibiliser un grand nombre de personnes mais donnent avant tout une fausse image du phénomène.

En effet, la réalité est bien différente. Les gros déchets ne représentent qu'une partie infime de la masse générale si on les compare aux milliards de petits. La partie réellement visible reste donc trop marginale pour être visible depuis l'espace. De plus, l'essentiel de ces déchets se trouve sous la surface de l'eau ce qui les rend encore plus difficiles à voir même depuis le pont d'un bateau.



Une des photos utilisées par un site pour illustrer le « Garbage Patch ». Il s'agit en fait de la pollution du port de Manille (Philippines)



Photo prise par la NOAA dans la zone du « Garbage Patch » - à première vue rien d'anormal...



Mais d'un autre point de vue, c'est bien différent...

La NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration (USA), est l'une de ces agences qui étudient le GPGP et qui tentent de le « démystifier » et de rétablir la vérité.



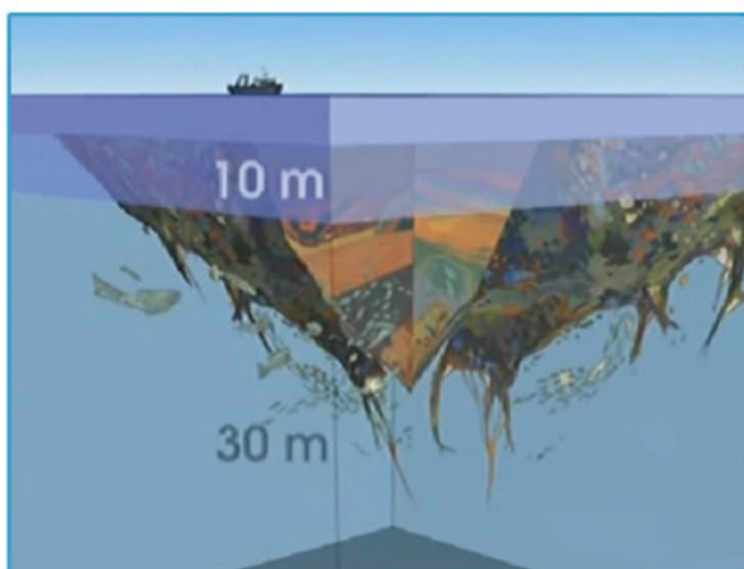
Si l'étendue du problème reste encore floue et difficile à mesurer, les scientifiques s'accordent à dire que l'augmentation du problème est bien réelle. En effet, la recherche a montré qu'il y a eu une augmentation des débris marins au cours de ces dernières années. Cela s'explique simplement par l'augmentation de la production qui va donc de pair avec cette pollution. Les données actuelles sont estimées à partir d'échantillons et restent souvent très variables par rapport à la zone de prélèvement car la concentration n'est pas uniforme.



Echantillon prélevé dans le GPGP

Dans une collecte réalisée par « Algalita », on a pu compter une concentration de 334.271 débris de plastique sur 1 km². Une moyenne a été estimée de 32.000 à 1 million selon la zone et une masse moyenne de 5,1kg par km². En 2006, cette moyenne s'élevait à 18.500 morceaux de plastiques par km². Dans les zones de forte concentration, on compte six fois plus de particules de plastiques que de zooplanctons...

Les déchets océaniques sont constitués à 90% de plastique. Les 10% restant sont en majorité des déchets naturels que l'océan n'a aucun mal à décomposer. Parmi les plastiques, 70% couleront. Il s'agit principalement des PVC, des ABS, du PEHD, du PS non expansé et de certains nylons et caoutchoucs. La partie flottante des déchets se répartit parfois jusqu'à 30 mètres de profondeur. Après 10 mètres de profondeur, la concentration est cependant deux fois moins importante.



Répartition en profondeur des débris



Déchets de tailles plus importantes collectées par Greenpeace – le mot « TRASH » est écrit uniquement avec des balles de golf

La taille des déchets va en décroissant au plus on se rapproche du centre du GPGP. Les petites particules sont tellement nombreuses qu'elles font descendre la moyenne estimée de la taille d'un morceau à $5 \times 5 \times 1$ mm pour une masse de 1,114 g.

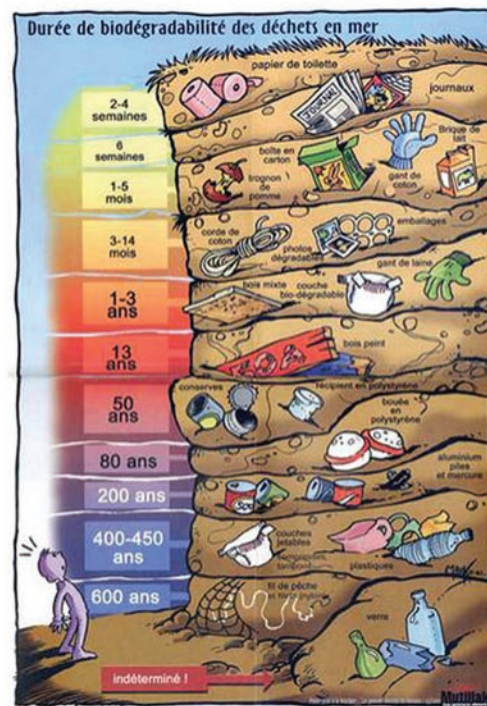
Les déchets qui dérivent au gré des courants marins mettent entre 5 et 10 ans pour atteindre la zone de concentration. Ce temps est suffisant pour dégrader en grande partie les objets en plastique et les réduire en microparticules lorsqu'ils atteignent le centre.



Les conséquences

Ce qui pose problème c'est principalement le temps nécessaire à la dégradation de ces plastiques (estimé entre 500 et 1000 ans) et la toxicité des éléments qui les composent. Les répercussions directes sont facilement observables, mais il en existe également des indirectes avec des effets encore inconnus ou qui seront visibles dans plusieurs années.

Des répercussions directes, c'est la faune marine qui en souffre le plus. De nombreux animaux marins ont été tués ou blessés par des déchets de plastique principalement parce qu'ils se prennent dedans ou parce qu'ils les confondent avec de la nourriture et les ingèrent. Greenpeace a recensé au moins 267 espèces touchées dont 86% des espèces de tortues marines, 44% des espèces d'oiseaux marins et 43% des espèces de mammifères marins.



Biodégradation des déchets humains en milieu marin



Les enchevêtrements

Les enchevêtrements sont principalement causés par du matériel de pêche : filets et lignes de pêche ou d'autres objets comme les bandes de cerclage ou les « six-pack rings ». Ces déchets causent souvent la mort par noyade, suffocation, strangulation ou de faim lorsqu'ils diminuent les capacités d'alimentation. Certains animaux y survivent, mais souvent au prix de blessures béantes ou de membres sectionnés. Les otaries et les phoques sont particulièrement touchés par ce phénomène. Leur nature curieuse les amène parfois à s'enrouler ces déchets autour du cou qui, plus tard en grandissant, leur seront fatals. Les autres espèces touchées sont les lamantins, les baleines, les tortues et les oiseaux marins.

Des études ont prouvé que l'enchevêtrement avait des impacts sur les populations de ces espèces. Sur une colonie d'otaries, par exemple, le pourcentage des individus enchevêtré varie entre 0,13 et 1,3 %. Le danger est surtout visible chez des espèces déjà menacées qui ont du mal à rétablir leur population face au nombre d'individus mort dans les enchevêtrements et accélère leur déclin. Ce pourcentage est encore plus significatif chez certaines espèces de tortues ou d'oiseaux. Une étude sur une colonie de fous de Bassan a notamment révélé que le taux de mortalité causé par l'enchevêtrement était de 13 à 29% !



Animaux marins enchevêtrés dans des déchets de matériel de pêche



Les dégâts aux récifs coraliens

Les filets de pêche sont une fois de plus mis en cause. On peut imaginer leur impact destructeur lorsqu'ils décident de s'échouer sur des récifs coralliens. Ils brisent les branches des coraux jusqu'à s'en extirper ou dans le cas échéant s'intègre au récif et empêche le corail et autres invertébrés de repousser.



Lors d'un ramassage de ces filets sur les côtes hawaïennes, une étude a rapporté que le poids de ces filets pouvait être constitué jusqu'à 20% par la masse de débris coralliens qu'ils ont piégés. On connaît déjà l'état critique de certains récifs dû au réchauffement global des océans. Cette menace en plus pourrait vraiment être fatale à plusieurs récifs.



Impact d'un filet sur un récif coralien

Une pollution toujours négative ?

À l'heure actuelle des études, les déchets plastiques ne paraissent pas avoir de conséquences positives sur les récifs. C'est bien différent pour d'autres pollutions. Des épaves de bateaux se sont retrouvées, en l'espace de 50 ans, plus riches que des récifs naturels. Beaucoup de vieux bateaux sont aujourd'hui coulés dans cette optique de devenir des récifs artificiels. C'est même devenu une alternative au recyclage des vieux métros de New York ! Les carcasses d'aciers sont jetées au large des côtes new-yorkaises et ont permis le retour de nombreuses espèces de poissons dans la baie de Manhattan.



Plus de 700 cabines de métro ont été jetées à l'eau

La pêche «fantôme»

Les filets « fantôme » ont été décrits comme des « perpétuelles machines à tuer ». Plus que des déchets, ces filets sont souvent toujours en état de fonctionnement et continuent à pêcher des centaines d'animaux. Ils dérivent sur des kilomètres et piègent des poissons qui attireront des prédateurs et des charognards qui seront capturés à leur tour. Par exemple, un filet de 1500 mètres, repêché après une dérive d'un mois, avait piégé 99 oiseaux, 2 requins et 72 saumons.

Les pêches « fantômes » sont également une grande perte économique pour la pêche industrielle. Une étude expérimentale sur la pêche « fantôme » de la lotte estime que 18,1 tonnes de lottes sont capturées chaque année par ces filets. Cette quantité représente 1,48% du quota annuel. Cette étude a également estimé une perte de 250 millions de dollars par la pêche « fantôme » des casiers de pêche sur le homard.



Les victimes de la pêche «fantôme»



L'ingestion

Les animaux se retrouvent à manger du plastique principalement par ce qu'ils les confondent avec leur nourriture. À l'image des tortues qui prennent des sachets plastiques pour des méduses ou des oiseaux qui régurgitent des briquets, qu'ils prennent pour des petits poissons, à leurs poussins.

Ce plastique n'est bien évidemment pas digéré par l'organisme et colmate l'estomac des animaux. S'ils ne meurent pas de cette concentration de plastique dans leur estomac, ils le feront de famine en se pensant rassasier. Cette ingestion de plastique est également dangereuse car il peut libérer des substances dans l'organisme. De fines particules de plastique peuvent se loger dans les tissus et se retrouvent ainsi dans la chaîne alimentaire. Récemment, on a découvert que ce problème touchait la faune marine jusqu'à de très petits organismes marins.

Les effets indirects de cette ingestion et de leur place dans la chaîne alimentaire sont encore peu connus et à l'étude. On sait que les plastiques sont porteurs de polluants persistants, mais leurs effets ne sont pas encore prouvés. De nombreuses études ont, au contraire, prouvé les effets directs de ces ingestions. Une étude alarmante a d'ailleurs montré le désastre provoqué par ce problème sur une colonie d'albatros de Laysan qui niche sur les îles de l'archipel hawaïen. Un tiers des poussins meurent le ventre rempli d'objets en plastique.

Selon la NOAA, c'est environ un million d'oiseaux marins et 100 mille mammifères marins qui meurent chaque année à cause des déchets plastiques.



Poussins d'albatros morts, le ventre rempli de débris de plastique

La prolifération et l'invasion d'espèces indigènes

L'invasion d'espèces indigènes a souvent des impacts importants sur un écosystème établi qui en devient totalement bouleversé. Des études récentes ont mis en avant que ce phénomène touchait désormais la zone du GPGP. Les débris de plastique transportent de nombreux organismes marins à des kilomètres de leur région d'origine. Certains meurent, mais d'autres prolifèrent abondamment notamment grâce à cet environnement de plastique. Ironique, mais bien réel, certaines espèces ont trouvé dans ces plastiques un milieu riche où elles peuvent proliférer. Ce sont des insectes patineur d'eau, des petits crabes, des bernacles et des invertébrés appelés bryozoaires, qui vivent sur la surface de l'eau. Déjà habitués à pondre leurs œufs sur des débris flottants, cette profusion de déchets plastiques est une aubaine.

Le biologiste marin Erik Zettler a inventé le terme de « plastisphère » pour décrire ces nouveaux écosystèmes favorisés par les déchets plastiques. La plastisphère est en train de changer radicalement les écosystèmes marins. Ces créatures atteignent des régions qu'elles n'ont jamais atteintes et où elles vont entrer en concurrence avec différents écosystèmes, parfois déjà fragilisés.



Patineur d'eau



Les conséquences indirectes

Les conséquences indirectes sont plus difficiles à déterminer. Les études trop récentes ou peu avancées ne permettent pas des résultats aussi approfondis que pour les conséquences directes.



Les débris de plastiques peuvent absorber les polluants organiques persistants (POP) présents dans les océans. Les plastiques agissent comme des éponges, fixant de nombreuses toxines dans des proportions des millions de fois supérieures à la normale. Le biphényle polychloré (BPC) (un composant de liquide de refroidissement), le dichlorodiphényltrichloroethane (DTT) (un pesticide) ou les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) (un sous-produit de combustion) font partir de ces substances toxiques qui sont déjà extrêmement nocives à l'environnement. Ces substances sont ingérées par les animaux, lorsqu'ils avalent un morceau de plastique, sans qu'on puisse dire dans quelles mesures elles les atteindront.

Certaines études avanceraient que ces substances agissent sur le système endocrinien des poissons et provoquent un dérèglement hormonal qui engendre une augmentation anormale de poissons hermaphrodites ou stériles.



Des conséquences pour l'Homme ?

Les conséquences des déchets plastiques dans les océans ne se répercutent pas uniquement sur la faune marine. C'est d'abord un problème pratique, au même titre qu'une otarie, une hélice ou un gouvernail peut s'enchevêtrer dans des filets de pêche abandonnés. Les dégâts sont souvent économiques et parfois sécuritaires quand il s'agit d'aller libérer et réparer ces hélices en pleine mer.

Le rejet de ces déchets sur les plages est également une grande perte économique. Tous ces déchets accumulés sur les plages nuisent au tourisme et donc à l'économie d'une région. L'archipel d'Hawaï, au milieu du Pacifique, est le premier concerné par le problème. Pour conserver son tourisme, les autorités doivent investir des milliards chaque année pour entretenir les plages.

Cité précédemment, les pertes économiques liées à la pêche « fantôme » presque en concurrence avec la pêche industrielle.

Une des dernières conséquences porte à la santé. On sait que des substances nocives se retrouvent dans la chaîne alimentaire et risquent donc de se retrouver dans notre organisme. Même si rien n'est encore prouvé, on peut imaginer que ces substances ne peuvent faire plus de mal que de bien.

Localisation du phénomène

Le GPGP se localise dans ce qu'on appelle le « gyre » subtropical du Pacifique Nord. Ce terme désigne une zone de convergence des courants marins qui circulent dans une lente spirale. Les gyres sont créés par la force de Coriolis (relative à la rotation de la Terre). Ce gyre se situe dans toute la partie nord du Pacifique. C'est une zone calme, peu venteuse et peu fréquentée où les déchets n'ont pas de mal à se laisser transporter par le sens du courant. Ils peuvent ensuite tournoyer pendant des années.

Ce gyre est encerclé par quatre courants marins : le Kuroshio à l'ouest, le Nord-Pacifique au nord, le Californie à l'est et le Nord-Equatorial au sud. Ces courants piègent les débris dans cette zone et les empêchent de pouvoir faire demi-tour.

Le gyre subtropical du Pacifique Nord s'étend sur un peu plus de 34 millions de km². Des prélèvements effectués sur toute sa traversée contenaient toujours des débris de plastique dans une concentration plus ou moins importante. De cette étude, certains on conclut qu'on pouvait déterminer la taille du GPGP à toute cette surface tandis que d'autres préfèrent le localiser sur des zones où la concentration est plus importante.

Il existe en effets deux concentrations principales : une à l'ouest, principalement alimentée par la côte orientale de l'Asie et une à l'est alimentée par la côte occidentale du continent Nord-Américain. Pour ce qui est de l'estimation de la taille de ces deux zones, elle est comprise entre 700.000 et 15 millions de km².



Déplacement sur 6 ans des débris depuis les côtes



Un phénomène unique ?

Malheureusement tous les plastiques de la planète ne se concentrent pas vers le GPGP. La moyenne de débris plastique dans l'océan est de 13000 par km². Les débris plastiques ne sont pas tous emportés par des courants océaniques jusqu'au GPGP. Certains formeront des concentrations de plus petites importances ou resteront à quelques centaines de kilomètres des côtes avant d'être rejetés sur les plages.

Une tendance indique que les concentrations deviennent de moindres importances aux approches des tropiques et des pôles.

Un rapport de Greenpeace situe les zones de pollutions de débris plastique les plus importantes (après le GPGP) au large des côtes de pays avec une forte concentration industrielle, urbaine, portuaire ou touristique sur le littoral ou, au contraire, au large des pays en voie de développement (Inde, Asie du Sud-Est...).

La pollution des débris plastique comprend également tous ceux présents sur les fonds marins car tous les plastiques ne flottent pas ou finissent par couler.

Un «Atlantic Garbage Patch» ?

Des indices laissent penser que ce phénomène est également présent dans le gyre de l'Atlantique-Nord. Les études actuelles l'estimeraient à quelques centaines de km² avec une concentration de 200.000 débris par km². Le phénomène est beaucoup moins alarmant que celui du Pacifique surtout qu'il ne semble pas augmenter. Cependant, il laisse penser que le phénomène serait présent dans les cinq gyres océaniques de la planète.



Etude du milieu marin

Généralités

La surface des cinq océans recouvre approximativement 70,1% de la planète. L'océan Pacifique est le plus grand de ces océans avec une surface de presque 181 millions de km², il recouvre près d'un tiers de la planète et compose presque 50% de tous les océans. C'est aussi le plus profond avec un record à 11.034 mètres pour une moyenne de 3.940 mètres de profondeur. Il se délimite par les continents Asie/Océanie et l'Amérique respectivement à l'est et l'ouest, au sud par le 60e parallèle et au nord par le détroit de Béring. On fait également une distinction entre la partie au nord de l'Équateur et la partie au sud.

Océanographie

Chimie : « l'eau de mer »

Faut-il le rappeler, l'eau des océans est une eau salée. « Salée » désigne le fait qu'elle contient des substances dissoutes : les sels, constitués d'ions ; principalement des ions d'halogénures (de la famille des halogènes : chlore, fluor...) et des ions alcalins (de la famille des métaux alcalins : sodium, potassium...). On trouve 30 à 40 grammes de sels dissous pour 1 litre d'eau de mer. La masse volumique de l'eau de mer à la surface est d'environ 1,025 g/ml à cause de ce sel (1 g/ml pour l'eau douce). Cette masse varie en fonction de la salinité, de la pression et de la température. La température de surface est quant à elle varie de l'état de gel aux pôles à environ 30°C à l'Équateur. Le PH est compris entre 7,5 et 8,4.

On retrouve dans l'eau de mer 94 éléments chimiques naturels. La plupart le sont en quantité infime. Par ordre décroissant d'importance, on peut citer : le chlorure, l'ion sodium, le sulfate, l'ion magnésium, l'ion calcium, l'ion potassium, le bicarbonate, le bromure, l'acide borique, le carbonate et le fluorure. Les proportions de ces éléments restent sensiblement identiques à l'ensemble de l'eau de mer et sont donc indépendantes de la salinité ou de la température de l'eau.

Ces données sont importantes dans le choix des matériaux afin qu'ils résistent à ces substances.

Élément	Masse	Élément	Masse
Oxygène (O)	85,84	Soufre (S)	0,091
Hydrogène (H)	10,82	Calcium (Ca)	0,04
Chlore (Cl)	1,94	Potassium (K)	0,04
Sodium (Na)	1,08	Brome (Br)	0,0067
Magnésium (Mg)	0,1292	Carbone (C)	0,0028



Pourcentage en masse des principaux composants de l'eau de mer

Physique : l'eau en mouvement

L'eau océanique est perpétuellement en mouvement notamment par des mouvements oscillatoires (vagues, houle, tsunami...) et des mouvements non oscillatoires (courants marins).

Les vagues sont principalement créées par le vent et leur intensité dépend de lui. Lorsqu'il a soufflé suffisamment fort, longtemps et/ou sur une assez grande distance, les vagues se transforment en houle. Celles-ci sont des sortes de « vagues résiduelles » qui peuvent parcourir d'immenses distances, même en l'absence de vent.

Les tempêtes se caractérisent par une baisse de la pression atmosphérique qui fait monter localement le niveau de l'eau. Le vent, la force de Coriolis ou des phénomènes de résonnances peuvent leur faire prendre les proportions dévastatrices qu'on leur connaît. *Les tsunamis* sont, eux, créés par des phénomènes tectoniques.

Les marées font également partie de ces mouvements oscillatoires. Elles sont très faibles en plein océan et ne sont donc pas vraiment à prendre en compte pour ce projet.

Les courants marins sont des déplacements de l'eau de mer. On en distingue deux types. Les courants de surface, générés principalement par les vents, et les courants de profondeur, créés par les changements de densité de l'eau de mer. Les courants jouent un rôle important dans la régulation des climats en dispersant la chaleur de l'Équateur aux pôles. Ils sont aussi des corridors écologiques pour certaines espèces qu'ils transportent.



Quels mouvements pour le gyre Nord Pacifique ?

Comme dit précédemment, les gyres sont des zones océaniques plutôt calmes. Les vents sont plutôt faibles ce qui ne provoque pas une activité intense de vagues. Les courants de surface, dépendant également du vent, se déplacent donc lentement en spirales dans le sens horaire. Ils sont actifs jusque 300 mètres de profondeur et sont donc les seuls responsables du déplacement des débris plastiques.

Les mouvements d'eau plus intenses pourraient donc venir de houles ou de tempêtes éventuelles.

Biologie : la vie marine

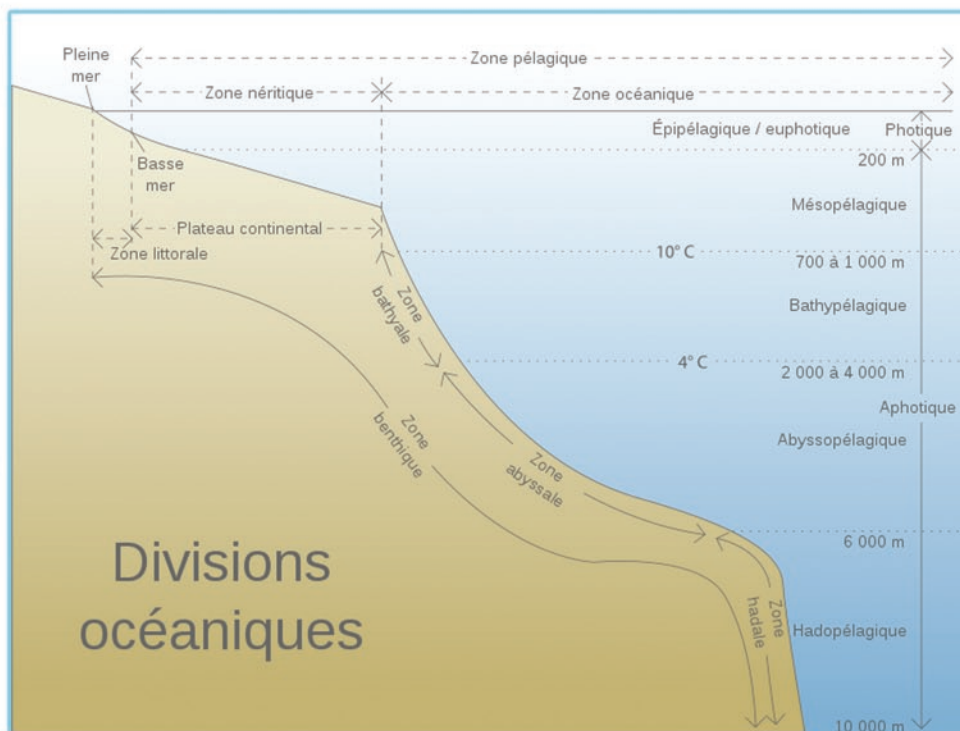
La biologie marine est un domaine d'étude très large. Les océans représentent un volume habitable 300 fois plus important que sur terre. La troisième dimension, la profondeur, est un espace beaucoup plus occupé que sur terre et joue un rôle important dans la répartition des espèces.

Les espèces marines sont réparties en fonction de leurs rapports avec le milieu. On distingue le domaine pélagique et le domaine benthique. Le pélagos est l'ensemble des organismes qui peuplent une colonne d'eau (espace entre les fonds marins et la surface) contrairement au benthos qui sont ceux qui occupent les fonds marins. Nous allons donc nous attarder sur la zone pélagique et plus précisément sur une « sous-zone », l'épipélagique, comprise entre la surface et 200 mètres de profondeur.

La zone épipélagique est un espace où la lumière est suffisante pour permettre la photosynthèse. C'est dans cet espace qu'on retrouve le plus grand nombre de plantes et d'animaux marins.

Les organismes marins sont divisés en necton et plancton. Le necton regroupe toutes les espèces capables de « lutter » contre les courants marins contrairement au plancton qui sont tous les organismes qui se laissent emporter.

Le necton de la zone épipélagique se constitue de toutes les espèces d'oiseaux marins, de certains poissons, de la plupart des mammifères (certains cétacés descendent beaucoup plus bas !) et des sept espèces de tortues marines.



Les espèces marines sont réparties selon la zone océanique qu'elles occupent

Le necton

Les oiseaux marins ne sont pas des animaux aquatiques mais dépendent de l'océan pour se nourrir. Ils sont d'origines terrestres et doivent donc rejoindre la terre pour pondre et incuber leurs œufs.

Les poissons sont totalement dépendants du milieu aquatique. Le nombre d'espèces et de genres est très nombreux, ils sont répartis dans toutes les zones aquatiques et se déclinent du vers nageur au plus gros des poissons osseux. Les poissons dits « de haute mer » font partie de ces poissons osseux ou cartilagineux (requins et raies principalement). Leur taille est souvent bien supérieure à 10 cm et leur principale caractéristique est qu'ils vivent en banc de milliers d'individus parfois.

Les mammifères marins regroupent les animaux vivants uniquement en milieu aquatique (principalement les cétacés) ainsi que ceux dépendant du milieu terrestre comme les phoques, les otaries ou les morses. Ces derniers s'éloignent peu souvent des côtes mis appart pour chasser tandis que les autres vivent pour la plupart en pleine mer. Ils vivent en groupes et peuvent parcourir des milliers de km lors de leurs migrations.

Les tortues marines ont des mœurs différentes selon l'espèce. La tortue verte vit principalement sur les récifs coralliens tandis que la tortue Luth est une tortue de pleine mer. Ce sont des animaux solitaires qui peuvent traverser de longues distances pour se reproduire et pondre leurs œufs. Tout comme les oiseaux, elles sont dépendante du milieu terrestre pour la ponde.



Le plancton

Le plancton est beaucoup plus vaste et constitue une énorme partie de la vie marine. Il regroupe beaucoup de microorganismes jusqu'à la plus grosse des méduses. Il est à la base de la chaîne alimentaire marine et est même la nourriture exclusive d'animaux comme les baleines.

Le plancton végétal (*phytoplancton*) utilise l'énergie solaire pour fabriquer de la matière organique. Il se situe dans les couches superficielles de l'océan jusqu'à 15 mètres de profondeur. Il détermine sa position, en surface ou entre deux eaux, en fonction de la quantité de lumière qu'il peut capter, indispensable à sa photosynthèse. Ils produisent de grandes quantités d'oxygène nécessaire à la vie dans l'eau, mais aussi, par les échanges gazeux, participent à l'oxygénation de la planète.

Le plancton animal (*zooplancton*) est composé de deux groupes : l'holoplancton et le méroplancton. Le premier se reproduit par accouplement

et se multiplie tandis que le second concerne de très nombreuses espèces marines telles que les homards, les crevettes, les huîtres, les moules qui, à un moment donné de leur existence, passent par des stades larvaires très complexes. Les crustacés copépodes composent plus de 80 % du zooplancton. Ils remontent la nuit vers la surface pour se nourrir de phytoplancton et redescendent pendant la journée vers les eaux plus profondes. Ils échappent ainsi aux prédateurs et économisent de l'énergie car la température est moins élevée. Ce phénomène est appelé « migration verticale ».

Le nanoplancton (20-2 μm), le picoplancton (2-0, μm), le femtoplancton, ou le virioplancton (virus marins essentiellement) découverts plus récemment, constituent une part encore mal connue de la biodiversité marine. Ces catégories de taille incluent de nombreuses espèces qui semblent pouvoir vivre à grande profondeur où l'intensité lumineuse est extrêmement faible.



Le plancton est classé selon sa taille :

mégaplancton : 20-200 cm (ex : grosses méduses)

macroplancton : 2-20 cm

mesoplancton : 0,2 mm-2 cm (visible à l'œil nu)

microplancton : 20-200 μm

nanoplancton : 2-20 μm

picoplancton : 0,2-2 μm (bactéries et eucaryotes)

femtoplancton : <0,2 μm (essentiellement des virus)



Gestion des déchets (municipaux) à travers le Monde

L'Europe

Chaque année, près de 2 milliards de tonnes de déchets sont produites dans les États membres et ce chiffre est en augmentation. Selon la législation européenne, le stockage de ces déchets n'est pas une solution viable et leur destruction n'est pas satisfaisante à cause du rejet de résidus hautement concentrés et polluants. La meilleure solution consiste encore à prévenir la production de ces déchets et à les réintroduire dans le cycle des produits via le recyclage lorsque des solutions viables écologiquement et économiquement existent.

Une directive du Parlement européen indique ceci : « Tout producteur ou tout détenteur de déchets doit procéder lui-même à leur traitement ou doit le faire faire par un négociant, établissement ou entreprise. Les États membres peuvent coopérer, si nécessaire, pour parvenir à l'établissement d'un réseau d'installations d'élimination des déchets. Ce réseau doit permettre l'indépendance de l'Union européenne en matière de traitement des déchets. (...) Toute méthode d'incinération ou de co-incinération visant une valorisation énergétique ne doit s'effectuer que si cette valorisation présente une efficacité énergétique élevée. (...) Il importe, par ailleurs, de renforcer les mesures à prendre en matière de prévention ainsi

que de réduction des incidences de la production et de la gestion des déchets sur l'environnement. Il s'agit enfin d'encourager la valorisation des déchets afin de préserver les ressources naturelles »¹.

Dans la pratique, les États membres sont encore trop inégaux dans la gestion des déchets. La Bulgarie enfouit la totalité en décharges, alors que le Danemark privilégie l'incinération (54 % de ses déchets). L'Allemagne est à la pointe du recyclage (48%) et l'Autriche championne du compostage (40 %). La France se caractérise par une forte proportion d'incinération (32 %) et un retard persistant sur le recyclage (18 %). D'après un rapport publié par Eurostat, les six États membres les plus performants, c'est-à-dire la Belgique, le Danemark, l'Allemagne, l'Autriche, la Suède et les Pays-Bas mettent en décharge moins de 3 % de leurs déchets. L'Autriche est le meilleur élève de la classe européenne, 70 % de ses déchets sont recyclés ou compostés.

À l'autre extrémité, neuf États membres enfouissent en décharge plus de 75 % de leurs déchets. Cependant, Eurostat souligne les progrès réalisés par certains nouveaux États membres avec un taux de recyclage qui augmente rapidement. La production de déchets a également diminué dans plusieurs pays.

1. http://europa.eu/legislation_summaries/environment/waste_management.htm

L'Amérique

Amérique du Nord (USA)

Les Américains produisent plus de 250 millions de tonnes de déchets par an. Plus de 60% de ces déchets seront mis en décharge ou incinérés. Le taux de recyclage ou le compostage est beaucoup trop faible étant donné les moyens techniques et financiers du pays. Les États-Unis n'ont pas de lois fédérales efficaces ou d'infrastructures en place pour maximiser le recyclage, réduire les déchets ou protéger l'environnement et la santé publique.

De nombreuses disparités sont visibles à travers les états. La gestion des déchets dépend plus de « plans d'état » que d'une loi fédérale, la dernière datant de 1976. La sensibilisation au tri ou au compostage dépend d'associations ou d'agences tandis que la pratique dépend plutôt du « bon vouloir » des Américains.

Amérique du Sud

Dans de nombreuses régions d'Amérique latine avant de parler de recyclage ou d'autres valorisations des déchets, on parle avant tout d'un ramassage efficace ou non des déchets. Les grandes villes bénéficient d'un service de ramassage de plus en plus efficace tandis que les régions plus pauvres ont encore d'énormes progrès à fournir. Des améliorations ont été observées à Rio ou à Buenos Aires où la gestion des déchets est entrée dans les programmes gouvernementaux.

Ce ramassage ne garantit pas pour autant un traitement efficace. La majorité des déchets se retrouvent dans des décharges à ciel ouvert. Celles-ci sont le gagne-pain de milliers de personnes qui viennent y récupérer les ordures marchandes. Cette collecte représente la part majoritaire du « recyclage ».

La grande majorité des déchets produits en Amérique du Sud sont organiques et se dégradent donc facilement dans la nature. La principale solution pour les autres déchets est l'incération. Loin d'un but de valorisation énergétique, c'est essentiellement dans le but d'éliminer des milliers de tonnes de déchets pour lesquels il n'y a pas de solutions efficaces.



L'Afrique

Constat semblable à l'Amérique du Sud pour l'Afrique. La population s'accroît, les activités de production s'intensifient et les déchets prolifèrent sans que les autorités locales mettent en œuvre une politique de gestion efficace. Les décharges à ciel ouvert font partie du paysage de nombreuses villes africaines.

Loin des préoccupations principales, de nombreux pays africains doivent d'abord faire face à des crises humanitaires et économiques avant de régler la question de la gestion des déchets.

L'aide étrangère et quelques associations locales permettent de traiter une partie de tous ces déchets. Elles favorisent également la sensibilisation au compostage et à la gestion des déchets en général. Une association locale active au Sénégal rapporte ceci : « (...) L'insalubrité est même grandissante et choquante. Les abords des écoles ou des lacs en plein centre-ville sont d'une saleté éloquentes et cela ne semble gêner personne. Les gens défèquent et urinent n'importe où.

Il faut une éducation citoyenne pour apprendre à gérer les déchets. Actuellement chacun jette ses ordures n'importe où et même juste à côté de leur maison. Cela crée des problèmes de santé. Le Sénégal possède une population très jeune. Il faut donc développer la formation sur la gestion des déchets en milieu scolaire. Ce que le gouvernement ne fait pas actuellement. Il n'y a aucune régularité sur le ramassage des ordures. Cela est une nuisance pour l'ensemble de la population. Chaque famille devrait avoir une poubelle à la maison et apporter cette poubelle au dépotoir ou convenir d'un ramassage avec l'entreprise qui collecte les déchets »¹.

Un autre phénomène alarmant inquiète de plus en plus : l'Afrique comptera bientôt plus de déchets électroniques que l'Europe. L'exportation de déchets est un phénomène auquel l'Afrique est gravement exposée et qui ne facilite pas les travaux d'assainissement des villes.



L'Asie

Le cas du continent asiatique est plus complexe. Certains pays comme la Chine ou le Japon sont plus développés et leur gestion des déchets est semblable à celle de l'Europe. Leurs améliorations tiennent dans un recyclage et une valorisation des déchets toujours plus performante. D'autres pays comme l'Inde ou la Thaïlande ne peuvent pas en dire autant.

La collecte des déchets dans les décharges est le seul revenu pour des milliers d'habitants des bidonvilles indiens. Les gouvernements n'arrivent plus à faire face à l'augmentation démographique des villes et à la mondialisation qui génère toujours plus de consommation et donc de

déchets. La soif de nouvelles technologies amène ces pays à importer (principalement de Chine) des gadgets électroniques et d'autres produits qu'ils ne sont pas capables de traiter.

Tout comme l'Afrique, certains pays du continent asiatique sont des destinations de rêve pour l'exportation, souvent illégale, de déchets électroniques, informatiques ou chimiques avec des conséquences sur la santé en plus de celles sur l'environnement.

L'Océanie

Pas de constats alarmants pour l'Océanie, ce qui laisse penser que la gestion des déchets est assez efficace. L'Australie est un pays développé qui compte peu d'habitants par rapport à sa superficie ce qui permet au pays de ne pas rencontrer de problèmes importants dans le traitement de ses déchets.

Et les déchets industriels ?

La gestion des déchets dans les entreprises va souvent de pair avec le constat général du pays. Le manque de réglementations est souvent la base de ce manque de gestion. Les lois pour la protection de l'environnement ou la santé sont négligées ou non respectées. L'exportation de déchets dans ces pays permet de gros bénéfices car ils ne sont pas soumis à un contrôle ou à une réglementation aussi stricte et coûteuse qu'en Europe.

Une inégalité Nord / Sud ?

Par cette brève étude de la gestion des déchets à travers les continents, on se rend facilement compte que la qualité de cette gestion dépend des Pays Nord / Sud. Alors que les Pays du Nord peuvent se permettre des avancées techniques en matière de recyclage ou de revalorisation des déchets, les Pays du Sud peuvent à peine assurer une collecte satisfaisante.

Le développement et les moyens financiers d'un pays influent, mais c'est bien souvent aussi une question de comportement humain et de manque de sensibilisation comme nous le montre l'exemple du Sénégal. Il est dès lors difficilement imaginable que la matière première du GPGP s'épuise ou même diminue dans les prochaines années...



Etude de valorisation des déchets plastiques

Les produits en plastique peuvent contribuer au développement durable après leur phase d'usage s'ils sont éliminés de manière responsable, par recyclage ou par valorisation énergétique. Tous les plastiques sont recyclables – mécaniquement ou chimiquement – mais le recyclage de tous ne fait pas sens du point de vue environnemental et économique. Ces plastiques représentent en revanche une importante source d'énergie électrique et thermique.

La mise en décharge des plastiques renforce l'idée qu'ils ont peu ou pas de valeur, avec pour conséquence qu'ils

puissent être abandonnés dans la nature et finir éventuellement dans le milieu marin. La filière plastique met tout en œuvre pour que les plastiques ne soient plus mis en décharge. Elle milite pour qu'ils soient recyclés ou utilisés comme carburant dans des installations de valorisation énergétique performantes.

La filière plastique tout entière a pour objectif un taux de recyclage et de valorisation énergétique des plastiques de 100 % auquel des mesures légales et fiscales sur la mise en décharge doivent contribuer.

Quelques chiffres (Europe)

En 2010, les déchets plastiques de post-consommation ont totalisé 24,7 millions de tonnes, soit 2,5 % de plus que les niveaux de 2009. Parmi elles, 10,4 millions de tonnes ont été mises en décharge et 14,3 millions de tonnes valorisées. Dans certains pays, le taux de valorisation est proche de 100% : 9 pays valorisent plus de 90% de leurs déchets plastiques post-consommation.

La quantité recyclée a augmenté de 8,7 % en 2010, grâce à une plus grande implication des citoyens, aux initiatives de collecte des emballages et aux entreprises de recyclage. L'Union Européenne a recyclé 5,018 millions de tonnes de déchets, soit un taux de recyclage de 32,6% avec un taux généralement situé entre 15 et 30% par pays. 16 pays ont un taux de recyclage

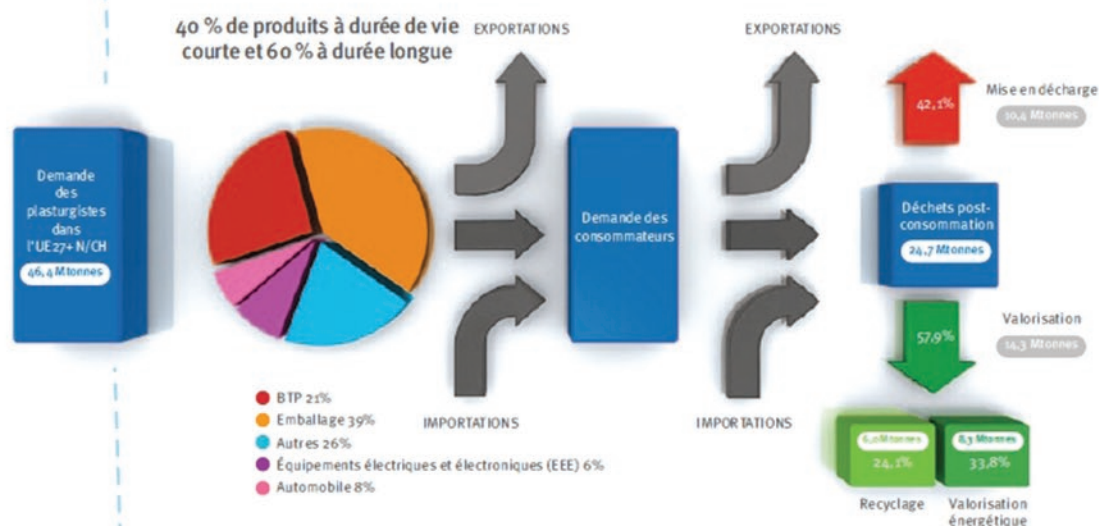
supérieur à 30% en 2010, la Suède en tête avec un taux de recyclage de 46,5%. L'Allemagne recycle plus de 1,1 M de tonnes de déchets d'emballages plastiques post-consommation, soit 21% de l'ensemble des emballages plastiques recyclés en Europe. L'Italie et le Royaume-Uni 0,7 M de tonnes, la France 0,5 M de tonnes et l'Espagne 0,4 M de tonnes. Ensemble, ces 5 pays recyclent 3,4 M de tonnes d'emballages plastiques en 2010 soit 70% des emballages plastiques recyclés en Europe.

La quantité de plastiques utilisés dans la valorisation énergétique a progressé de 9,8% en 2010, principalement en raison de l'emploi accru de déchets plastiques de post-consommation comme

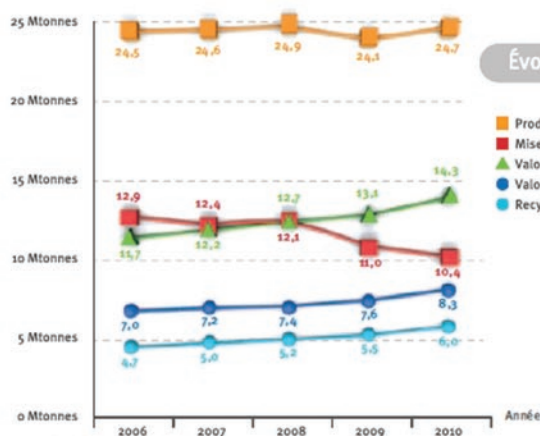
combustible complémentaire dans certaines centrales électriques et cimenteries. Le taux de valorisation énergétique des pays de l'Union se situe généralement entre 0 et 75%. Le taux plus élevé de cette valorisation, par rapport au recyclage, s'explique par une plus grande utilisation pour tous les plastiques confondus (24 vs 34 %).

Globalement, la quantité de déchets plastiques de post-consommation recyclés et valorisés a progressé de 9,3 % par rapport à 2009 avec une croissance d'environ 5% chaque année.

L'emballage reste le plus grand secteur utilisateur de matières plastiques avec 39% du taux de production. Il génère aussi la plus grande part de déchets plastique avec 15,4 millions de tonnes. Le taux combiné du recyclage et de la valorisation énergétique pour les emballages plastiques est plus élevé que celui de l'ensemble des plastiques, 66 % contre 58 %. Ce taux témoigne des efforts déployés depuis plus longtemps dans ce secteur. Les taux de recyclage et de valorisation énergétique sont équivalents dans l'emballage (32 vs 33%).

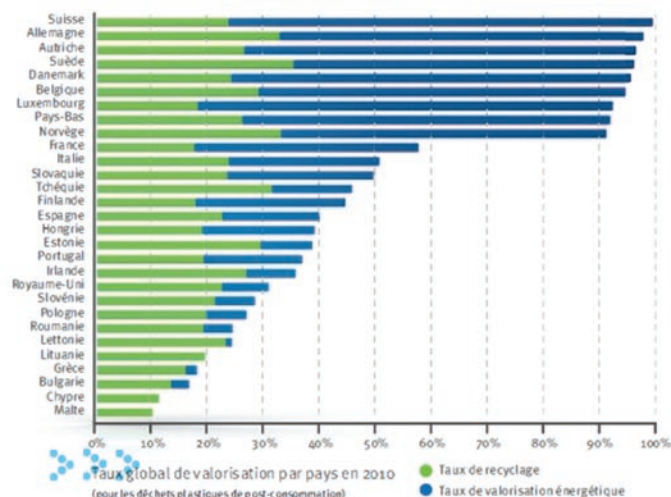


Cycle de vie des plastiques en Europe



Quantité totale de déchets recyclés et valorisés en 2006-2010

Source : Consultic



Les techniques de valorisation des déchets plastiques



La valorisation énergétique

Parmi les solutions de valorisation énergétique performantes, figure la « cogénération ». Le potentiel énergétique des déchets, y compris celui des plastiques, est converti à la fois en électricité et en chaleur. Les déchets plastiques peuvent également être transformés en combustibles solides de récupération et utilisés dans un grand nombre d'installations de combustion, dont les cimenteries.

La valorisation énergétique consiste à transformer un déchet en énergie thermique et ceci grâce à son potentiel calorifique. Cette énergie sera utilisée pour la production de chaleur et/ou d'électricité. Elle s'applique à tous les types de plastiques et surtout à ceux qui n'ont pas été triés ou qui ont été contaminés par d'autres déchets ou qui sont composés d'un mélange de polymères.

Les plastiques sont faits à partir du pétrole. La valeur calorique lors de la combustion est très élevée. Si celle-ci est utilisée comme carburant, de nombreuses ressources naturelles peuvent être épargnées comme le charbon, le gaz et le pétrole.

Les plastiques peuvent remplacer les combustibles fossiles à plusieurs stades, du puits de pétrole à la consommation finale : chauffage, climatisation ou production électrique. Aussi longtemps que nous utiliserons les combustibles fossiles pour obtenir de l'énergie, les plastiques présenteront un intérêt certain.

L'incinération des matières plastiques nécessite cependant un équipement spécifique à la récupération d'énergie et au traitement des fumées dégagées. Celle-ci est possible dans les usines d'incinération d'ordures ménagères avec récupération d'énergie et dans les cimenteries. Cependant, les équipements sont souvent insuffisants et les incinérateurs ne sont pas tous équipés de récupérateurs d'énergie. De plus, l'incinération de quantités importantes de plastiques occasionne des surchauffes.

L'acceptation de la valorisation énergétique reste difficile par la société dans la mesure où le public a une connaissance limitée de la valorisation énergétique, souvent basée sur des réalités dépassées. Cela se traduit donc bien souvent par une forte opposition aux projets de construction de nouvelles installations (syndrome « nymbi », « pas dans mon jardin »). Malheureusement, les atouts que présente la valorisation énergétique aujourd'hui n'ont guère place dans le débat public. Les parties prenantes conscientes de ces avantages devront relever ensemble ce défi.

L'exemple du Danemark : en ce qui concerne l'électricité et la chaleur extraites des déchets, le Danemark est le champion européen de la production par habitant. Ses 30 usines consomment 3,5 millions de tonnes de déchets par an pour produire 5 % des besoins domestiques en électricité et 20% de la chaleur.

Le recyclage

Le recyclage est un procédé de traitement des matériaux qui permet de réintroduire la matière du déchet, sans destruction de sa structure chimique, dans la production d'un nouvel objet.

Le recyclage mécanique

Le recyclage mécanique consiste à refondre la matière pour fabriquer des produits commercialisables. Les déchets sont lavés, broyés puis directement transformés en produits finis ou bien en granulés.

Le recyclage mécanique est extrêmement simple quand les plastiques sont constitués d'une seule résine. Les déchets sont broyés puis ajoutés aux granulés de résine vierge avant la plastification. Mais, le recyclage pose des problèmes quand les plastiques sont de composition différente puisqu'ils ne sont généralement pas compatibles entre eux. Les températures de transformation sont en effet différentes et le mélange de plusieurs plastiques entraîne une diminution de la qualité des caractéristiques mécaniques du produit final.

Le recyclage de déchets de plastique mélangés se justifie dans certaines circonstances mais est actuellement irréaliste pour tous les déchets plastiques si l'on considère les aspects économiques et environnementaux.

Le recyclage mécanique est la technique privilégiée pour de nombreux déchets domestiques à l'image des bouteilles plastiques.

Le recyclage est bien souvent perçu comme la contribution la plus importante des citoyens au développement durable. La diffusion de messages politiques tels que la « société du recyclage » a largement contribué à la généralisation de cette perception.



Le recyclage chimique

Le recyclage chimique consiste à décomposer les macromolécules constitutives des polymères, en matières premières réutilisables sous l'effet de la chaleur et/ou d'un composé chimique. Selon le procédé utilisé, la valorisation permet de revenir au monomère de départ ou aux produits pétrochimiques de base.

Les procédés thermiques sont peu adaptés aux déchets en mélange contrairement aux techniques de dissolution qui présentent l'avantage de s'appliquer à tous les types de plastiques et même aux mélanges. Les conditions technico-économiques sont meilleures que celles des procédés thermiques et on obtient des produits de meilleure qualité que ceux issus du recyclage mécanique.

Les autres modes de valorisation

Les déchets plastiques peuvent également être utilisés en tant que charge :

- Utilisation des plastiques thermodurcissables en substitution des charges minérales
- Utilisation des déchets de polystyrène expansé dans certains bétons ou briques ce qui permet l'allègement du matériau
- Ajout de déchets thermoplastiques dans la constitution des revêtements routiers, ce qui permet d'améliorer les performances de l'enrobé, en particulier sa résistance à la fissuration.

La réutilisation et la récupération d'objets en plastiques sont des bons moyens de prolonger leur durée de vie.

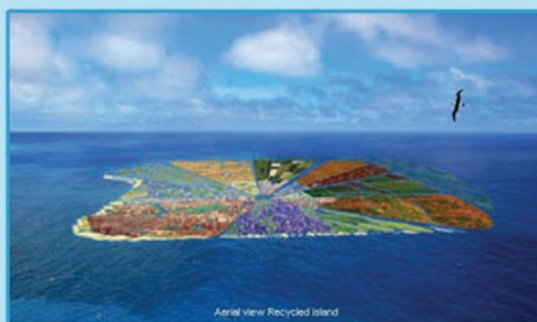


La difficulté de valoriser ces déchets de post-consommation dépend :

- L'hétérogénéité des produits
- Les limites techniques du tri
- Le degré de contamination des produits
- Le prix des cours de la résine vierge
- La mise en décharge encore trop importante

Projet - Recycle Island

Recycland Island est une île artificielle "100 % recyclable" imaginée par les architectes néerlandais du cabinet Whim. Elle aurait pour soubassement les tonnes de déchets plastiques récupérés dans le Pacifique Nord. Cette île s'étendrait sur 10 000 km² et pourrait accueillir 500 000 habitants (notamment des réfugiés climatiques). Elle permettrait de nettoyer les océans des déchets plastiques et de créer de nouveaux territoires répondant aux normes vertes. On pourrait même y pratiquer l'agriculture et la culture de varech (algues) pour alimenter la population et rendre l'île totalement autonome.



Recycle Island, une île artificielle de plastiques.

Etude des énergies renouvelables

Fournies par le soleil, le vent, la chaleur de la terre, les chutes d'eau, les marées ou encore la croissance des végétaux, les énergies renouvelables n'engendrent pas ou peu de déchets ou d'émissions polluantes. Elles participent à la lutte contre l'effet de serre et les rejets de CO₂ dans l'atmosphère, facilitent la gestion raisonnée des ressources locales, génèrent des emplois. Le solaire (solaire photovoltaïque, solaire thermique), l'hydroélectricité, l'éolien, la biomasse, la géothermie sont des énergies flux inépuisables par rapport aux « énergies stock » tirées des gisements de combustibles fossiles en voie de raréfaction : pétrole, charbon, lignite, gaz naturel.

Quelques chiffres...

En 2005, les énergies renouvelables représentaient 13,5 % de la consommation totale d'énergie commercialisée dans le monde et 18 % de la production mondiale d'électricité. La biomasse et les déchets assurent l'essentiel de cette production commercialisée (10,6 %). Pour la production électrique, l'hydraulique (90 %) est loin devant la biomasse 5,5 %, la géothermie 1,5 %, l'éolien 0,5 % et le solaire 0,05 %.

La mer, source d'énergies

La mer est un milieu riche en flux énergétiques pouvant être exploités sous diverses formes :

- L'énergie hydrolienne (énergie des courants marins)
- L'énergie marémotrice (énergie des marées)
- L'éolien en mer, posé ou flottant
- L'énergie houlomotrice (énergie des vagues)
- L'énergie thermique des mers (utilisant le gradient thermique entre surface et grande profondeur)
- L'énergie osmotique (utilisant le gradient de salinité à l'embouchure des fleuves).

Hormis l'éolien en mer posé, ces énergies, qui représentent un intérêt significatif, ne sont pas encore exploitées de manière industrielle faute de technologie éprouvée. Le développement des premiers prototypes de taille significative pour l'hydrolien, l'houlomoteur et l'éolien flottant conduit aujourd'hui à penser qu'un tel développement industriel pourrait commencer à se concrétiser avant 2015 par la commercialisation d'équipements rentables dans un contexte de demande croissante et de raréfaction des combustibles fossiles.

Dans le cadre du projet, l'énergie solaire est également envisageable.

L'énergie hydrolienne

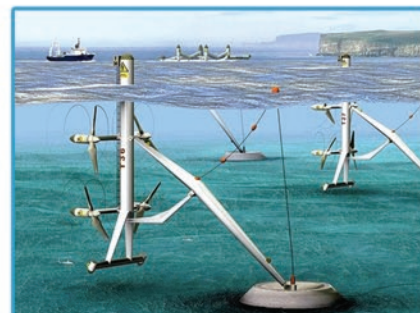
Les courants marins représentent une fabuleuse source d'énergie qui contrairement aux vents est constante et prévisible. C'est un avantage déterminant par rapport aux autres énergies renouvelables intermittentes.

Une hydrolienne est une turbine sous-marine (ou subaquatique, ou posée sur l'eau et à demi immergée) qui utilise l'énergie cinétique des courants marins ou des cours d'eau, comme une éolienne utilise l'énergie cinétique de l'air. La turbine de l'hydrolienne permet la transformation de l'énergie hydraulique en énergie mécanique, qui est alors transformée en énergie électrique par un alternateur.

Les sites favorables sont des sites côtiers permettant l'encrepage des hélices. On dispose de deux possibilités pour fixer les hydroliennes. Soit on monte les hélices sur des supports verticaux posés sur le fond (ce qui ressemble aux éoliennes), soit on attache par des câbles un ensemble générateur / turbine qui flotte à mi-profondeur pour capter au mieux l'énergie du courant et ne pas gêner la navigation de surface.

Avantages :

- Les hydroliennes sont beaucoup plus petites que les éoliennes pour une même puissance, cela étant dû à la masse volumique de l'eau qui est environ 800 fois supérieure à celle de l'air.
- Les courants marins sont prévisibles, on peut donc estimer avec précision la production d'électricité.
- L'hydrolienne utilise une énergie renouvelable et elle ne pollue pas, en termes de déchets issus de combustion tels que CO₂ ou de déchets radioactifs.
- La rotation des hélices crée des zones de turbulence empêchant les dépôts de sédiment et l'envasement sur le dispositif.



Divers projets d'hydroliennes

Inconvénients :

Le milieu marin est corrosif ce qui nécessite un entretien régulier, mais il est plus difficile qu'à l'air libre puisqu'on ne peut pas l'ouvrir sans que l'eau ne pénètre à l'intérieur et n'endommage tous les systèmes. Pour cette raison, certaines hydroliennes ont une structure émergeant de l'eau, qui peut être gênante pour la navigation.

L'installation sous-marine n'est pas facilement accessible et nécessite des moyens spécifiques.

Les hydroliennes créent des zones de turbulences, qui modifient la sédimentation et le courant, avec de possibles effets sur la flore et faune juste en aval de leur positionnement.

Des poissons ou mammifères marins pourraient heurter les hélices.

Un intérêt fort se manifeste sur ce sujet et les projets "démonstrateurs" au niveau international se multiplient. Le Royaume-Uni a une vraie avance justifiée par la ressource énergétique élevée dans les mers entourant le pays : un centre d'essai, l'EMEC, a ainsi été créé en 2003, puis le Wave Hub en 2010.

Plusieurs démonstrateurs ont également été déployés en Irlande, au Danemark et au Portugal. En France, des études et des démonstrateurs à petite échelle ont été lancés à partir de 2001 et des démonstrateurs pré-commerciaux commencent à voir le jour (comme c'est le cas pour le parc hydrolien de Paimpol Bréhat, où une première hydrolienne a été installée en 2011).



Hydrolienne prototype Wave Hub au large du Royaume-Uni

L'énergie marémotrice

Une usine marémotrice exploite les variations du niveau de la mer pour produire de l'électricité. Ce type de centrale hydroélectrique nécessite un site approprié (baie ou estuaire) où les amplitudes des marées sont importantes.

L'usine marémotrice fonctionne sur base des vases communicant, la construction d'un barrage est donc nécessaire. Tout comme les hydroliennes, les courants marins entrent en jeu et permettent de rendre la production d'énergie prévisible.

Les sites adaptés au captage de l'énergie marémotrice sont peu nombreux. Ils se concentrent dans les régions où, du fait notamment des conditions hydrodynamiques, l'amplitude de l'onde de marée est amplifiée.

L'exploitation optimale de l'énergie nécessite des aménagements importants, qui modifient notablement les équilibres écologiques dans des zones généralement fragiles. Il est probable que cette voie ne sera plus guère exploitée à l'avenir.

L'usine marémotrice de la Rance (France) est la seule construite. Elle s'étend sur 750 mètres et est la principale source d'électricité de la Bretagne.



Usine marémotrice de la Rance

L'éolien en mer

Une éolienne marine fonctionne suivant le même principe qu'une éolienne terrestre. Leur placement en pleine mer leur permet un rendement deux fois plus important et permet de réduire l'impact sur le paysage que l'on reproche souvent aux éoliennes.

L'installation d'éoliennes en mer est cependant beaucoup plus coûteuse qu'à terre : les mâts doivent être étudiés pour résister à la force des vagues et du courant, la protection contre la corrosion doit être renforcée, l'implantation en mer nécessite des engins spécialisés, le raccordement électrique implique des câbles sous-marins coûteux et fragiles, et les opérations de maintenance peuvent nécessiter de gros moyens.



Champs d'éoliennes en mer



L'énergie houlomotrice

L'énergie houlomotrice est une énergie marine utilisant la puissance du mouvement des vagues de houle. Les vagues à la surface de la mer sont créées par le vent. La quantité d'énergie générée est faible, mais comme les vagues se déplacent de manière très économe, on peut récupérer presque toute l'énergie créée sur de vastes surfaces marines. L'énergie des vagues n'est pas la même partout, et elle varie suivant les saisons.

Il existe 4 principaux types de dispositifs pour récupérer l'énergie des vagues :

-  Des bouées sous-marines en mouvement, qui montent, descendent et tangent au gré des vagues. Ce mouvement actionne un piston, aspire de l'eau de mer dans une turbine ou comprime de l'air qui va faire tourner un moteur.
-  En fin de course (sur une plage), les vagues entrent dans un caisson où elles compriment l'air emprisonné. Cet air comprimé fait tourner une turbine
-  Les vagues qui s'engouffrent dans un chenal, qui se rétrécit de plus en plus, enflent et débordent par-dessus la digue d'un réservoir qui se remplit peu à peu. L'eau du réservoir revient à la mer en passant par une turbine qu'elle fait tourner.
-  Des caissons flottants reliés entre eux par des charnières articulées. Les vagues déplacent les caissons dans tous les sens. On récupère de l'énergie au niveau des articulations mobiles entre les caissons, grâce à des pistons actionnant des pompes à huile sous pression.

Le Portugal fut le pays pionnier dans l'exploitation de cette énergie avec le projet « Palamis ». Il avait fourni à ses débuts 2,25 MW, l'équivalent énergétique de 1 500 foyers. À terme, le projet devait être capable de produire l'énergie de 15 000 maisons, mais en raison de problèmes techniques récurrents, la première centrale houlomotrice au monde a dû être démontée au printemps 2009. Des progrès restent donc encore à faire...



Projet Palamis sur le littoral portugais

L'énergie thermique des mers (ETM)

La différence de température entre les eaux de surface des océans en zone tropicale ($+ 25^{\circ}\text{C}$) et à 1.000 m de profondeur (5°C) constitue un énorme réservoir d'énergie. Le principe repose sur le gradient de température entre l'eau de mer en surface et celle en profondeur qui permet d'alimenter une turbine thermique et ainsi produire de l'électricité. Suivant les principes de la thermodynamique classique, plus la différence de température est importante, plus l'ETM sera importante et donc rentable.

Le potentiel techniquement exploitable est très important, mais limité aux zones intertropicales où le gradient de température atteint un minimum de 20°C . Cette source d'énergie est prédictible et continue, elle pourrait donc produire l'électricité de base dans des régions isolées. Des projets sont en cours à Hawaï, en Polynésie et dans les DOM-TOM.

La technologie est en stade de développement et d'expérimentation. Elle est freinée par les coûts : l'ETM génère des rendements faibles alors qu'elle nécessite des investissements importants. Aujourd'hui, son développement est envisagé principalement pour de grandes unités installées en pleine mer, davantage rentables. Le stockage de l'électricité par l'hydrogène permettrait à terme d'augmenter l'efficacité d'une telle technologie.



Projet de centrale ETM

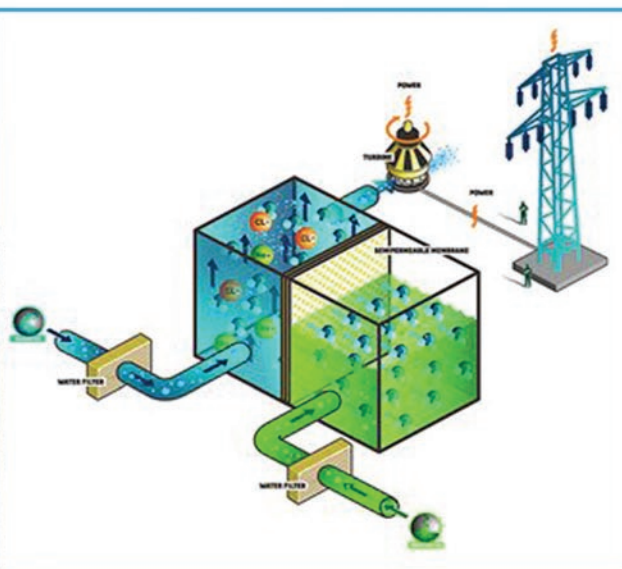
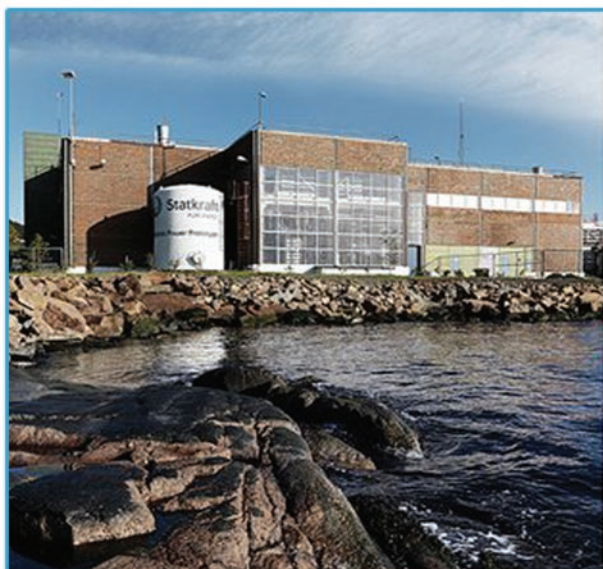
L'énergie osmotique

L'énergie osmotique désigne l'énergie exploitable à partir de la différence de salinité entre l'eau de mer et l'eau douce, les deux natures d'eau étant séparées par une membrane semi-perméable. Elle consiste à utiliser une hauteur d'eau ou une pression créée par la migration de molécules d'eau à travers ladite membrane. La pression d'eau en résultant assure un débit qui peut alors être turbiné pour produire de l'électricité.

L'énergie osmotique est potentiellement exploitable par tout pays disposant d'embouchures de fleuves. Elle ne dépend pas des conditions météorologiques et offre, elle aussi, une très bonne prédictibilité de production électrique.

Outre les performances, les coûts élevés de production et de nettoyage des membranes semi-perméables constituent le principal frein actuel au développement de l'énergie osmotique.

Le premier prototype de centrale osmotique a été mis en service en 2009 en Norvège.



Prototype de centrale osmotique en Norvège

Adaptation au milieu marin

La situation du GPGP implique une exposition longue au milieu marin. De cette condition, le projet doit prendre en compte des paramètres de résistance à ce milieu. C'est avant tout une adaptation de par ses matériaux, une technologie adaptée à la navigation marine et l'utilisation d'une énergie disponible dans ce milieu.

Les matériaux doivent principalement résister à l'eau de mer. C'est une substance assez corrosive à laquelle ils devront résister sans perdre de leurs propriétés. La résistance aux UV est aussi à prendre en compte. Le milieu dégagé de la pleine mer implique une exposition importante qu'il ne faut pas négliger. Les autres paramètres aquatiques sont ici dans des proportions moindres. La température, la pression ou le PH ont un rôle moins important pour le choix des matériaux.

La présence de composants électriques et la présence quasi permanente de l'eau de mer nécessitent une bonne isolation électrique afin d'éviter tout problème technique. Une conception hermétique et « waterproof » est également indispensable.

Les métaux offrent une bonne résistance aux UV et certains résistent très bien à la corrosion même de l'eau de mer. Certains traitements de surface comme le zingage permettent aussi d'augmenter cette résistance. Cependant, leur utilisation impliquerait une isolation de tous les composants électriques ce qui pourrait augmenter les coûts de production.

Les matières plastiques nous montrent clairement ici leur bonne résistance au milieu marin. Leur résistance aux UV est plus délicate et réduit leur choix. Ils sont de bons isolants électriques et permettent de réduire les problèmes de court-circuit. Le prix des plastiques permet de réduire les coûts de production et leur facilité de mise en œuvre permet plus de possibilités d'utilisation.



Les énergies marines offrent une capacité électrique importante par diverses techniques. Malgré l'état prototypique de la plupart d'entre elles, elles offrent de belles perspectives sur leur utilisation industrielle future. Elles permettent une source d'énergie à proximité, prédictible, propre et renouvelable.

L'utilisation de certaines techniques implique des moyens d'infrastructure et de gestion importante. Il est difficilement concevable d'adapter celles-ci à l'échelle d'un projet et leur hypothétique utilisation nécessiterait alors l'adaptation du projet à des infrastructures déjà existantes. L'énergie osmotique ou marémotrice a besoin d'endroits d'implantation spécifique et des infrastructures importantes qui rendent leur utilisation en pleine mer difficile.

L'ETM, l'énergie houlomotrice, éolienne et hydrolienne y compris le solaire permettent une utilisation en pleine mer. Mis à part l'ETM qui nécessite des moyens importants, les autres sont plus largement envisageable en terme d'unité. Ces techniques productrices d'énergies pourraient prendre la forme de stations énergétiques et de point de recharge de batteries.

L'adaptation à plus petite échelle de l'énergie solaire, éolienne, hydrolienne et houlomotrice est également envisageable et permettrait d'intégrer ces techniques directement sur le projet. À petite échelle, elles permettraient de produire une quantité

d'électricité suffisante pour un moteur dans des mesures réalistes bien évidemment (il n'est pas question ici de faire fonctionner un paquebot avec un moteur électrique !). Cependant, le traitement des déchets dans le GPGP implique parfois une utilisation jusqu'à 30 mètres de profondeur. L'utilisation de l'éolien serait donc impossible et le solaire serait fortement réduit.

Les technologies utilisées dépendent, elles aussi, principalement du milieu marin. Le projet a besoin au minimum d'un système de déplacement. L'utilisation d'hélices sera donc plus que possible. L'utilisation d'énergies renouvelables entraîne que celles-ci seront alimentées par un moteur électrique de puissance plus ou moins élevée. La manière dont sera utilisée cette énergie impliquera l'utilisation de batteries ou d'une zone de stockage.

L'utilisation du projet en profondeur lui donnerait des allures de sous-marins avec un besoin de ballasts ou de safran de direction.

Le projet devrait également comprendre d'autres technologies comme un système de communication GPS pour le localiser, un système radar pour détecter des masses de déchets importantes ou d'un système de production d'énergie si celui-ci est intégré directement sur le projet.

Gestion des déchets

Les déchets plastiques présents dans le GPGP sont de natures très différentes. La quantité importante et la taille des déchets ne permettent pas de pouvoir identifier directement la nature de chacun. Certains ne sont même pas des plastiques. Le recyclage est donc impossible d'un point de vue technique et surtout économique ! Le tri qu'il engendrerait serait irréaliste et tous ces plastiques ne sont pas capables d'être recyclés.

La valorisation énergétique est la solution la plus plausible pour ces déchets. La quantité importante justifie également ce choix par un rendement important et intéressant à exploiter. Les conditions de traitement spécifiques de cette méthode nécessitent des usines spécialisées. La valorisation énergétique directement en milieu marin est à proscrire (le but n'est pas de polluer plus !). Le mieux consiste donc à confier cette phase à une entreprise spécialisée qui respecte les normes et possède un équipement relatif à cette manœuvre.

Une autre alternative envisageable est le broyage des déchets pour l'utilisation comme charge ou comme matière de « bourrage ». Cette méthode permettrait une transformation quasi directe et plus simple (il est tout de même conseillé d'éviter cette transformation directement dans le milieu aquatique). Cependant, les domaines d'utilisation sont plus réduits et les quantités pourraient devenir trop vite importantes et inutilisées.

L'opération principale du projet serait donc de collecter les déchets dans le milieu aquatique, de les contenir et de les acheminer jusqu'à un point de traitement. La technique la plus appropriée pour récupérer des objets solides dans un milieu aquatique reste encore le filet.



Protection de la faune et la flore

La collecte des déchets pourrait entraîner la capture d'animaux et autres organismes marins. Cette situation doit être réduite au maximum afin de ne pas nuire plus que les conséquences déjà présentes sur la faune. La situation géographique du GPGP, éloignée des côtes, réduit la présence d'une faune intense. Les poissons, les oiseaux voir quelques cétacés sont les plus probables. Le plancton (phytoplancton et zooplancton) constituera les organismes les plus présents.

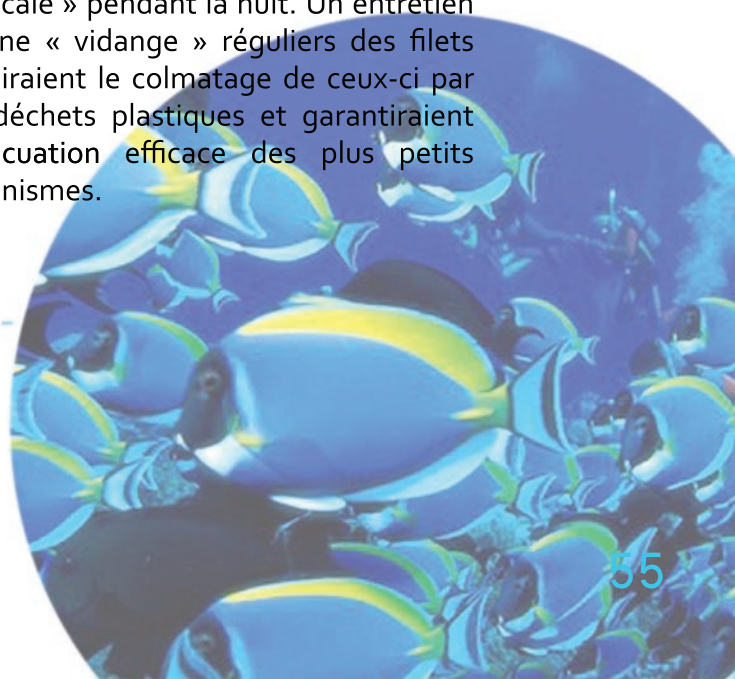
Les espèces dites du necton sont des êtres capables de prendre la fuite devant un danger. La solution résiderait à les faire fuir à l'approche des filets en assimilant ceux-ci à un danger.

Pour les poissons, la technologie « ProFish » s'est montrée efficace pour les faire fuir. C'est une technologie récente qui utilise des infrasons. La diffusion de ceux-ci a démontré une forte réaction de fuite orientée des poissons, contrairement à d'autres stimulus qui désorientent totalement les poissons. Cette fuite s'explique par le fait que les infrasons sont perçus comme un signal d'alarme naturel pour les poissons. Toutes les espèces de poissons sont sensibles aux infrasons, l'intensité utilisée dans le générateur et les fréquences émises (5 – 16 Hz) ciblent essentiellement les poissons inférieurs à 20 cm. Les premières installations démontrent un taux d'efficacité de plus de 80% en éloignement 10 à 20 tonnes de poissons par an. La technologie est actuellement développée pour éloigner les poissons des prises d'eau des barrages hydroélectriques ou des centrales nucléaires.

Un système presque identique a été développé pour les cétacés et principalement les dauphins. Le « Cétasaver » diffuse une large gamme de fréquences jusqu'aux ultrasons pour éloigner les dauphins des filets des pêcheurs. D'autres systèmes, encore, permettent d'éloigner les oiseaux dans les aéroports. Cependant la taille de ces animaux les rend moins vulnérables à une éventuelle capture car le maillage des filets serait beaucoup plus petit que celui d'un filet de pêche.

Le plancton est quant à lui beaucoup plus difficile à éviter. Il ne possède pas de capacités pour fuir et sa taille microscopique le rend très vulnérable aux maillages étroits. En effet, étant donné la taille moyenne des déchets plastiques, la taille du maillage se voit fortement réduite afin d'être efficace. Le but est donc ici d'établir un compromis entre taille du plancton et taille du maillage pour rester efficace et minimiser l'impact sur les organismes planctoniques.

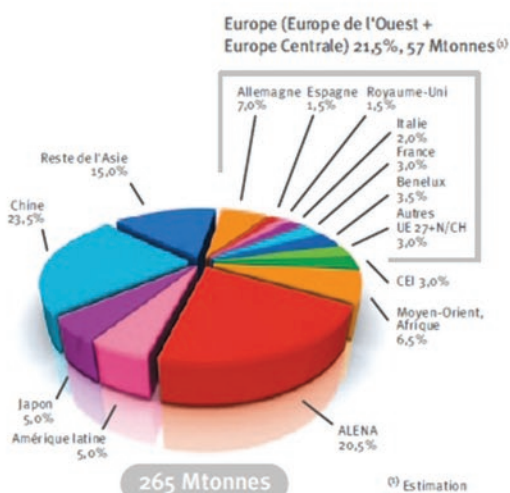
L'utilisation du projet de façon diurne réduirait l'impact sur le zooplancton qui effectue sa « migration verticale » pendant la nuit. Un entretien et une « vidange » réguliers des filets réduiraient le colmatage de ceux-ci par les déchets plastiques et garantiraient l'évacuation efficace des plus petits organismes.



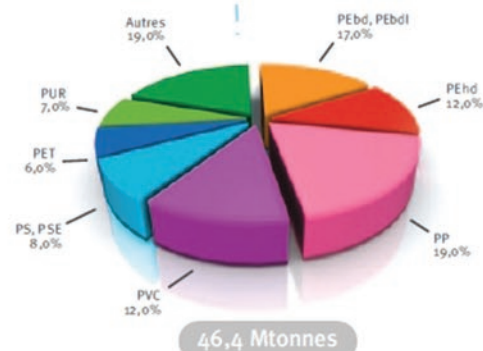
Le marché de la plasturgie (Europe)

En 2010, la filière plastique de l'Europe des 27 a poursuivi son redressement suite à la crise de 2008. Les producteurs de matières plastiques ont vu leur chiffre d'affaires augmenter de 17 % pour atteindre 104 milliards d'euros, tandis que les plasturgistes affichaient une croissance de 9,5 %, soit 203 milliards d'euros. Malgré une diminution du nombre d'emplois depuis 2008, la filière plastique, y compris les producteurs de machines, fournit du travail à environ 1,6 million de citoyens européens dans toute l'Europe. Par ailleurs, de nombreux autres emplois dépendent des matières plastiques.

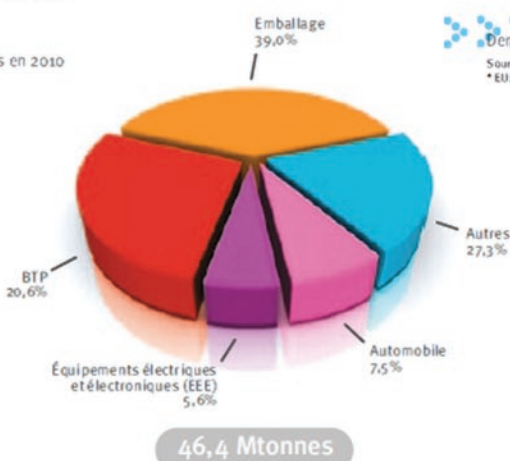
De 2009 à 2010, la production mondiale de matières plastiques s'est accrue de 15 millions de tonnes (6 %) pour atteindre 265 millions de tonnes, confirmant ainsi la tendance à long terme de la croissance de la production de matières plastiques de presque 5 % par an, observée au cours de ces 20 dernières années. En 2010, l'Europe représentait 57 millions de tonnes (21,5 %) de la production mondiale et la Chine a dépassé l'Europe pour devenir la plus grosse région de production à 23,5 %.



Production mondiale de matières plastiques en 2010
Source : PlasticsEurope Market Research Group (PEMRG)



Demande des plasturgistes par type de résine en Europe en 2010
Source : PlasticsEurope Market Research Group (PEMRG)
* EU27+N/CH incl. = Autres plastiques » (~5,6 Mtonnes)



Demande des plasturgistes en Europe par secteur d'application en 2010
Source : PlasticsEurope Market Research Group (PEMRG)

Coût du traitement des déchets

Le traitement des déchets à un coût et pour financer la gestion des déchets, les communes et les intercommunalités imposent la taxe d'enlèvement des ordures ménagères. La hausse due au recyclage et les normes environnementales plus strictes ont amené cette taxe à plus 100€ par foyers et par ans. La volonté de la fin de la mise en décharge entraîne des alternatives de valorisation plus couteuse en main d'œuvre, en équipement et en gestion.

Le milieu industriel voit également ses frais de traitement des déchets augmentés. Les nouvelles réglementations impliquent une gestion plus stricte et contrôlée. Les entreprises sont peu transparentes sur le montant de ce coût mais le respect de ces normes permet une amélioration de l'image de l'entreprise en termes de responsabilité sociale et environnementale. À l'autre extrémité, on trouve des entreprises qui estiment être défavorisées dans l'application de ces réglementations et préfèrent parfois sous-traiter leurs déchets dans des pays moins réglementés où elles génèrent plus de problèmes environnementaux.

Législatif

Réglementation du traitement des déchets

De manière générale, la réglementation définit de grands principes qui incitent à :

- La réduction des déchets à la source par l'adoption de technologies propres et le développement d'écoproduits.
- La valorisation des déchets par réemploi, recyclage ou toute autre action visant à obtenir à partir des déchets des matériaux réutilisables ou de l'énergie.
- Le traitement des déchets que l'on ne peut réutiliser ou recycler, notamment par les filières physico-chimiques et l'incinération.
- La mise en centre de stockage réservée aux déchets ultimes.
- Le traitement des déchets à proximité de leur lieu de production.
- L'information du public sur les effets, pour l'environnement et la santé publique, des opérations de production et d'élimination des déchets.

Lutte contre la pollution industrielle

La Commission européenne a présenté, en 2007, un projet de directive visant à condamner de manière uniforme au sein de l'Union européenne les crimes environnementaux. Actuellement, la définition varie fortement d'un État membre à l'autre, avec des sanctions jugées souvent « insuffisantes » par la Commission. Le commissaire chargé de la Justice, à la liberté et à la sécurité a déclaré que 73 % des « crimes verts » sont causés par les entreprises, il fallait donc les pénaliser plus fortement. C'est ainsi que des amendes allant de 750 000 euros à 1,5 million d'euros peuvent être infligées, ainsi que pour les personnes, des peines de prison allant de 5 à 10 ans. L'industrie est notamment concernée par deux types de crimes qui sont l'émission illicite de substances dangereuses et le transport illicite de déchets.

La protection marine

La pollution marine est définie comme « l'introduction directe ou indirecte de déchets, de substances, ou d'énergie, y compris de sources sonores sous-marines d'origine humaine, qui entraîne ou qui est susceptible d'entraîner des effets nuisibles pour les ressources vivantes et les écosystèmes marins. Avec pour conséquence, un appauvrissement de la biodiversité, des risques pour la santé humaine, des obstacles pour les activités maritimes, et notamment la pêche, le tourisme et les loisirs ainsi que les autres utilisations de la mer, une altération de la qualité des eaux du point de vue de leur utilisation, et une réduction de la valeur d'agrément du milieu marin. On distingue la pollution générée par les substances chimiques et celle produite par les déchets aquatiques »¹.



1. <http://www.com.univ-mrs.fr/gisposi/spip.php?article4>

Législations internationales

La Convention des Nations unies sur le droit de la mer (UNCLOS) oblige les gouvernements à prendre des mesures pour prévenir, réduire et maîtriser la pollution du milieu marin contre les sources terrestres. En 1995, 109 gouvernements et la Commission européenne se sont engagés à protéger et préserver l'environnement marin contre les effets environnementaux négatifs des activités terrestres en adoptant le Programme mondial d'action pour la protection du milieu marin contre les activités terrestres.

Marpol est une convention internationale s'appliquant aux navires (et aux plates-formes pétrolières) qui réglemente les rejets en mer. Afin de diminuer ces rejets, les navires et les plates-formes sont tenus de conserver à bord certains de leurs déchets et les ports doivent fournir des services de récupération des déchets durant les escales.

En Europe, la directive-cadre « stratégie pour le milieu marin » a mis en place un cadre permettant aux États membres de prendre toutes les mesures nécessaires pour réaliser ou maintenir un bon état écologique du milieu marin au plus tard en 2020. Dans ce cadre, qui est le pilier environnemental de la politique maritime intégrée préconisée par la Commission, les États membres doivent notamment :

- Assurer la protection et la conservation du milieu marin, éviter sa détérioration et, lorsque cela est réalisable, assurer la restauration des écosystèmes marins.
- Prévenir et réduire les apports dans le milieu marin afin d'assurer qu'il n'y ait pas d'impact ou de risque significatifs pour la biodiversité marine, les écosystèmes marins, la santé humaine ou les usages légitimes de la mer.



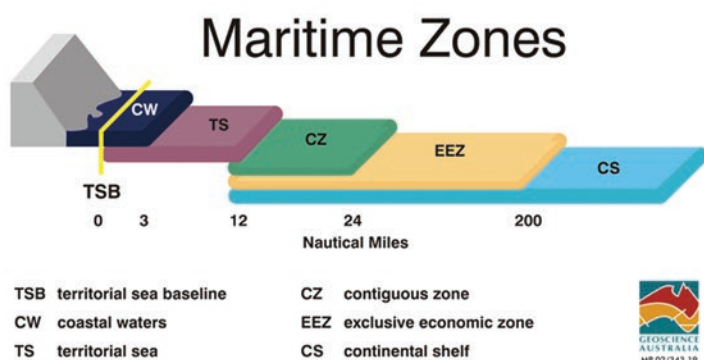
Délimitations océanographiques

Les eaux territoriales délimitent des zones parallèles à la côte, de 12 milles nautiques de largeur (environ 22 km), qui sont réputées faire partie du territoire national et dans laquelle l'État riverain exerce pleinement sa souveraineté, bien que les navires étrangers (militaires et civils) sont autorisés en passage inoffensif. Cette souveraineté s'étend sur la colonne d'eau, les fonds marins ainsi que l'espace aérien surjacent.

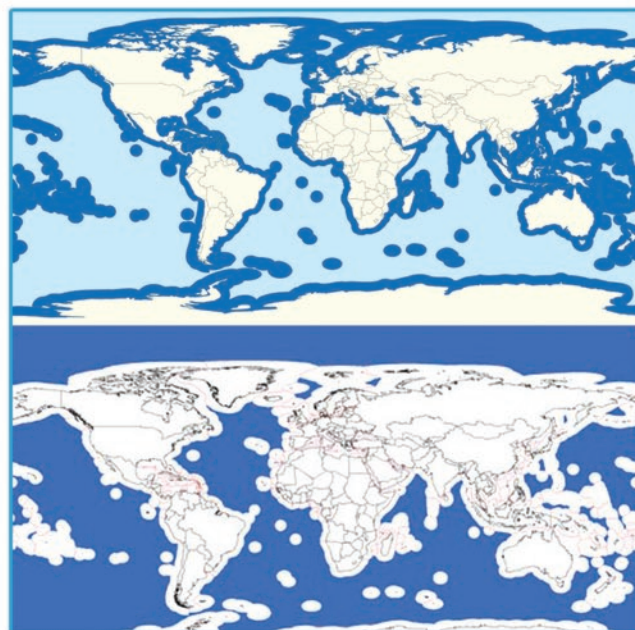
La zone économique exclusive (ZEE) est d'une largeur maximale de 200 milles (370 km) au-delà des lignes côtières. L'État côtier dispose de « droits souverains aux fins d'exploration et d'exploitation, de conservation et de gestion des ressources naturelles, des eaux surjacentes aux fonds marins, des fonds marins et de leur sous-sol ». L'État côtier peut donc réglementer l'activité de pêche, notamment fixer le volume autorisé des captures.

Les eaux internationales (au-delà de la ZEE) représentent 64 % de la surface des océans. Le principe de la liberté y prévaut : liberté de navigation, de survol, de la pêche, de la recherche scientifique, de poser des câbles et des pipe-lines, de construire des îles artificielles. L'application juridique dépend des autorités de l'État auquel appartient le navire ou l'intervention.

On constate que la majeure partie du GPGP se trouve dans les eaux internationales. La concentration est se situe dans quelques eaux territoriales principalement japonaises et philippines. La concentration ouest quant à elle se situe presque exclusivement en eaux internationales hormis la zone de l'archipel hawaïenne qui appartient aux eaux territoriales américaines. Cette situation, en dehors des cadres juridiques, ne facilite pas la gestion des déchets du GPGP et ne permet pas d'imposer une responsabilité vis-à-vis de ceux-ci par des États.



Les différentes zones maritimes



Eaux territoriales & internationales

Dans le développement de ce projet, l'ergonomie tiendra une place moins importante. L'un des buts de celui-ci est en effet de réduire au maximum les interventions humaines afin de diminuer les coûts de mains-d'œuvre. L'adaptation à l'Homme sera presque inexistante, mais d'autres adaptations seront indispensables.

La maintenance et l'entretien tiendront une place importante au niveau des interventions humaines. Faciliter ces tâches est l'un des points à travailler. Il faut également pouvoir tenir compte des moyens mis à disposition en milieu marin (chalutier, grues dans les ports...)

Les filets devront être vidés, contrôlés régulièrement. Cette tâche peut être effectuée par des pêcheurs. Leur habitude à ramasser leurs filets offre la possibilité de les inclure dans ce projet en évitant des frais de formation. C'est également une manière pour eux de pouvoir contribuer à un effort qui vise à améliorer un problème dans lequel ils sont impliqués d'une certaine manière. La mise à disposition de leurs bateaux et de leur équipement et l'adaptation du projet à ceux-ci sont une autre façon de diminuer les coûts. La maintenance nécessitera plus d'investissement. Les éventuels problèmes techniques feront l'affaire de techniciens spécialisés.

Inclure des personnes extérieures au projet est le meilleur moyen de les sensibiliser et de le diffuser à un public plus large.



À l'étude depuis presque 15 ans, le GPGP garde encore une part de mystère, mais ses effets néfastes sont bien visibles. Conséquences sur le biotope marin, source de dépenses, ou simplement de dégradation du paysage. Mais aussi, des possibles répercussions sur l'Homme et un problème éthique. La dynamique écologique et de gestion des déchets qui régit la plupart des entreprises européennes est un bon moteur pour développer ce projet.

Le projet doit convaincre par une gestion des déchets efficace et la plus rentable possible. Il faut pouvoir proposer des alternatives moins couteuses aux initiatives qui pourraient être mises en place, propres et respectueuses de l'environnement.



Fonctionnalités

Gestion des déchets

La collecte des déchets plastique à travers le GPGP représente une tâche importante du projet. Le traitement de ceux-ci doit être pris en charge par des entreprises spécialisées dans la valorisation énergétique ou éventuellement dans le broyage. Ce sous traitement participera à l'économie de ces entreprises et permettra une gestion efficace et propre.

Technologies & énergies à exploiter

Les technologies de navigation en milieu marin (et subaquatiques) seront indispensables et particulièrement adapter au phénomène de GPGP et à sa localisation. Celles-ci fonctionneront par des moteurs électriques plus silencieux et qui pourront être alimentés par des énergies renouvelables plus respectueuses de l'environnement.

Les filets sont des systèmes simples et efficaces pour collecter les déchets en milieu aquatique. Ils permettent de récupérer tous les déchets solides en rejetant l'eau. Afin d'être efficaces, ils devront comporter un maillage plutôt étroit afin de s'adapter à la taille des débris plastiques.

Le système de production d'énergie et d'autres technologies (radar, GPS...) peuvent s'avérer tout aussi utiles à être intégrés au projet.

Les différents systèmes d'exploitation des énergies marines sont des sources de production d'électricité facilement exploitables dans ce milieu. Leurs rendements et leur prédictibilité en font des énergies intéressantes. Les hydroliennes semblent les plus techniquement avancées et exploitables dans les années qui suivent. Leur utilisation à échelle réduite permet de les intégrer directement au projet ou de les utiliser, à plus grande échelle, comme station de recharge au projet.

Résistance au milieu marin

Les matériaux assureront la principale source de résistance au milieu marin. Les matières plastiques et les métaux remplissent ces conditions de résistance avec un intérêt plus marqué pour les plastiques dans un intérêt économique et de mise en œuvre.



Protection de la faune et de la flore

La technologie « Profish » permettrait de prévenir la capture de poissons. La diffusion des infrasons par le projet éloignerait les éventuels bancs de poissons présents dans cette zone et proches du projet.

Un compromis devra être trouvé entre taille du maillage et taille du plancton afin d'éviter une capture trop importante de celui-ci (capture qui restera cependant inévitable) et d'éviter des impacts trop importants sur l'écosystème. Cités précédemment, une utilisation diurne et un entretien régulier seront indispensables pour réduire cet impact.

Socio-culturel

De manière indirecte, le projet permettra de sensibiliser le public au phénomène du GPGP et des conséquences qu'il comporte. C'est également un moyen de prévenir la pollution par les matières plastiques en général et de changer les comportements à l'égard de ces déchets en combattant l'idée qu'ils ont peu de valeur après utilisation.

Public cible

On constate dans ce projet que le public « acheteur » sera différent du public « utilisateur ». Les entreprises sont pressenties pour l'achat du projet. En effet, l'investissement dans ce projet permettrait de véhiculer l'intérêt que porte une entreprise dans des initiatives écologiques et de protection de l'environnement. Il faut jouer sur cette visibilité et sur la recherche de statut par les entreprises afin de trouver des fonds d'investissement. L'achat de ce projet pourrait aussi permettre de redorer le blason d'entreprises « pollueuses » ou servir d'alternative aux amendes des crimes environnementaux.

Je pense qu'il ne faut pas sous-estimer cette recherche de statut par les entreprises. La tendance écologique du XXI^e siècle oblige les entreprises à diversifier leurs domaines d'activités notamment dans le développement durable afin de pouvoir rester concurrentielles et répondre à des réglementations qui visent également le développement de cette tendance.

Certaines associations écologiques ou des ONG peuvent également jouer le rôle d'acheteur suivant le respect de leurs convictions et leur désir d'investir dans des solutions à des problèmes environnementaux.

Coût

Afin d'aider dans l'investissement, le coût de production et d'utilisation doit, dans la limite du possible, être réduit. Favoriser un maximum l'autonomie et réduire la main d'œuvre sera un bon facteur pour y arriver. L'utilisation et la production autonome électrique évitent des coûts de carburants ou d'utilisation d'infrastructures existantes. L'intégration des pêcheurs pour l'entretien des filets et d'autres initiatives identiques sont autant de moyens qui permettront de diminuer les frais.

Le prix de « vente » pourrait être compris entre plusieurs dizaines à quelques centaines de milliers d'euros afin de ne pas être un frein à l'investissement qui est le point sensible de mon projet.

Ergonomie

L'ergonomie se résume principalement dans l'adaptation du projet aux moyens techniques disponibles et utilisables pour faciliter l'entretien, le transport, la recharge, etc.



Livres

Animot A. & Kérouel R., *Hydrologie des écosystèmes marins Paramètres et analyses*. Ed. Ifremer, 2004.

Ferderplast, *Les plastiques relèvent le défi du développement durable*, dossier, 2010.

Greenpeace International, *Plastic Debris in the World's Oceans*, rapport d'étude, 2009.

NOAA, *Marine debris collects within the North Pacific Subtropical Convergence Zone*, rapport d'étude, 2007.

Valorplast, *Plastiques 2011 : faits et chiffres. Analyse de la production, de la demande et de la valorisation des matières plastiques en Europe en 2010*, dossier, 2011.

Film

FEYDEL, Sandrine, *Plastic Ocean*, Prod. VIA DECOUVERTES PRODUCTION, 2009.

Sites

- Algalita**, *Algalita History*, <http://www.algalita.org/>
- ADEME**, *Energies et matières renouvelables*, <http://www2.ademe.fr/>
- AREC**, *Les déchets plastiques*, <http://www.arecpc.com/>
- CDE**, *Energie de la mer*, <http://www.connaissancedesenergies.org/>
- ConsoGlobe**, *Le règne du plastique*, <http://www.encyclo-ecolo.com/>
- EcoSources**, *Les énergies marines*, <http://www.ecosources.info/>
- Enviro2B**, *Gestion des déchets : la Commission européenne tient la solution*, <http://www.enviro2b.com/>
- Europa**, *Gestion des déchets*, <http://europa.eu/>
- Greenpeace**, *The Trash Vortex*, <http://www.greenpeace.org/>
- Howstuffworks**, *Why is the world's biggest landfill in the Pacific Ocean?*, <http://science.howstuffworks.com/>
- Intelligence verte**, *Les Conventions de protection du milieu marin*, <http://www.intelligenceverte.org/>
- IO9**, *Lies You've Been Told About the Pacific Garbage Patch*, <http://io9.com/>
- Les énergies des mers**, *L'énergie hydrolienne*, <http://tpe.energiesdelamer.free.fr/>
- Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie**, *les déchets aquatiques*, <http://www.developpement-durable.gouv.fr/>
- NOAA**, *Plastic Marine Debris: What we know*, <http://marinedebris.noaa.gov/>
- Notre-planète**, *Un gigantesque "continent" de déchets se forme dans le Pacifique Nord*, <http://www.notre-planete.info/>
- ORDIMIP**, *Réglementation générale des déchets industriels*, <http://www.ordimip.com/>
- Regard sur le monde**, *Les gigantesques « continents » de déchets plastiques des océans Pacifique nord et Atlantique*, <http://www.regardsurlemonde.fr/>
- Valorplast**, *Le recyclage des matières plastiques en Europe*, <http://www.valorplast.com/>
- Vedura**, *Valorisation énergétique des déchets*, <http://www.vedura.fr/>
- Wikipédia**, *plusieurs sujets*, <http://www.wikipedia.org/>