

Les matériaux, produits et équipements utilisés actuellement: Quelles empreintes écologiques ? Le bois, les fibres végétales, matériaux d'avenir pour la construction navale ?

27/10/2007

Médiateur: Hervé La Prairie (H)

Intervenants: Christophe Baley (CB), Jacques Dussol (JD), Peter Gallinelli (PG)

PG: Je suis architecte de formation. Architecte de bâtiment dans un premier temps, j'ai peu à peu été amené à m'intéresser davantage à la problématique de la construction navale, de par ma passion de navigateur mais également par amour et respect de la mer. Peu à peu j'ai transposé dans le nautisme, les connaissances que j'avais acquises dans le cadre universitaire et comme collaborateur scientifique à l'école d'ingénieurs de Genève. En effet, on peut dans une certaine mesure, appliquer au nautisme certains savoir-faire utilisables dans la conception et la construction de bâtiments. Dans ce contexte, j'ai toujours à Genève, un bureau d'étude, au sein duquel j'essaie de mettre en oeuvre ces connaissances. Ce dont je voudrais vous parler ce matin, c'est un peu une vue d'ensemble, une analyse globale des systèmes constructifs. Ceci nous permettra de démystifier quelques idées reçues, trop souvent mises en avant sans véritablement faire l'objet d'une réflexion objective. Avant tout je voudrais dire que l'écologie n'est pas un jeu, ni une mode, mais c'est véritablement une nécessité. Rappelez vous de cette définition qui je le pense est toujours utile de garder à l'esprit: ' l'écologie c'est un mode de développement qui s'efforce de répondre aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs.' Cette définition du rapport Brundtland, est évidemment très large, mais je pense que l'on peut en tirer un bon enseignement. Il est dit en complément que les êtres humains sont au centre des préoccupations relatives au développement durable et qu'ils ont le droit à une vie saine, productive et en harmonie avec la nature.

H: seconde intervention

PG: La précision que vous apportez peut être utile. Malheureusement les termes « durable » et « développement durable » sont devenus à la mode et sont utilisés tous les jours dans les médias. Il convient de veiller à ne pas les utiliser à tort et à travers, et il faut s'interroger sur la signification réelle de ces termes.

Venons en au 'Life cycle and impact assessment', plus généralement appelé: LCIA. Il s'agit d'analyses qui permettent d'évaluer l'évolution d'un matériau depuis sa fabrication jusqu'à sa fin de vie. Quelles sont les différentes étapes et quels sont les impacts sur l'environnement? D'un côté on trouve les inputs, à savoir: les matières premières, l'énergie nécessaire à leur extraction et à leur transformation, ainsi que l'eau et l'air. De l'autre côté, il faut considérer les « outputs », à savoir: les produits recherchés. Interviennent aussi des co-produits: dans tout processus industriel, il apparaît des sous-produits qui peuvent être utilisés.

De Navigatio

29 Boulevard Général De Gaulle
29100 Douarnenez

02 98 75 31 86 - contact@econav.org

Association loi 1901 - siret: 49820797600016 ape 913e

De ce processus de fabrication résultent aussi des effets que j'appellerais collatéraux, moins souhaitables, qui sont les émissions, les effluents et les déchets solides. A cela s'ajoutent des pollutions atmosphériques et marines, et ces conséquences posent passablement des problèmes.

Ce que l'on appelle l'analyse de cycle de vie des matières englobe donc l'extraction des matières premières, leur fabrication, leur transformation, et bien entendu, le transport, l'emballage éventuel, les chaînes de distribution. Cette analyse prend aussi en compte les données liées à l'exploitation de ces matériaux, par exemple: qu'est ce qui découle de l'usage de métal ou de composite sur un bateau? Y a il des possibilités de recyclage? (sachant qu'au jour d'aujourd'hui peu de matériaux sont entièrement recyclables), comment gérer les déchets en les valorisant, c'est à dire en les transformant en matériaux recyclés.

Pour illustrer ce concept, je vais vous commenter l'analyse de cycle de vie d'une coque d'un voilier de croisière de quarante pieds. Nous allons analyser d'une part les matériaux entrant dans la fabrication de la coque, soit la structure et l'enveloppe. Ensuite nous verrons les produits indispensables à la protection de cette même structure, car nous le savons tous, tous les matériaux ne font pas appel aux mêmes types de protections, qui s'avèrent indispensables pour maintenir la valeur du matériau dans le temps. Nous parlerons aussi des produits d'entretien, de rénovation éventuelle, ou de maintenance. Ces différents niveaux d'analyse prennent en compte la donnée de l'énergie non renouvelable, sachant que l'énergie investie dans la fabrication ne sera pas entièrement recyclée. Cela engendre une dépense énergétique qui n'est pas réutilisable, de par les transports, de par les processus de fabrication... Nous nous intéresserons également à ce que l'on appelle « les potentiels d'échauffement climatique » - question exprimée en kilogrammes de CO2 équivalents.

Il y a plusieurs dizaines d'indicateurs écologiques mais j'utiliserais les deux considérés comme étant les plus importants. Cependant n'oublions pas que si l'on fait une analyse de cycle de vie complète, on ne peut pas se contenter de ces deux seuls indicateurs. Pour l'objet de l'analyse je n'ai pas pris un bateau fini, le but étant de comparer ce qui est comparable. Supposons que tout ce qui est lié aux aménagements, aux équipements et à la technique est identique. Par contre en ce qui concerne la partie structurelle, nous allons trouver sept systèmes constructifs différents: une construction en acier, ensuite un alliage léger(alu) et lisse sur membrures, ensuite vient un alliage léger en tôle épaisse qui se passe en grande partie de structure; ensuite vient le composite, c'est à dire : fibre de verre-polyester monolithique; ensuite vient le bois-époxy, qui est en quelque sorte lui aussi un matériau composite; ensuite vient une construction en bordé classique, donc bordé bois; et enfin en dernière position vient le ferrociment.

Ces systèmes constructifs sont analysés selon l'énergie non renouvelable exprimée en mégajoules équivalents. Il est intéressant de relever que la construction en acier, très utilisée, a un impact écologique moindre comparé à l'alliage léger. Malgré ce constat, il y a peu de différences dans l'utilisation de l'un ou l'autre de ces matériaux dans la construction. La raison en est simple: avec une construction en acier, on obtient un devis de poids nettement supérieur à ce que serait ce devis pour une construction en alliage léger. Cependant le fait de devoir mettre en oeuvre plus de matière première aura une première incidence sur le bilan écologique. Si nous comparons ce choix avec une construction en « alu » sur structure, il s'avère que nous aurons besoin de davantage de produits pour protéger la construction. Il est clair qu'il n'est pas question de laisser une coque en acier brut naviguer en mer, elle ne durerait pas deux années sans être sujette à une rouille très importante. Cela nous montre toute l'importance de la question de la protection des matériaux. En ce qui concerne l'acier, des produits d'entretien et de maintenance sont utilisés pour le renouvellement des peintures qui s'en vont au fil du temps. Cela vient alourdir le bilan écologique. Finalement si nous comparons la durée de vie de l'une ou de l'autre des coques, nous constatons une différence qui n'est pas du tout négligeable.

Prenons maintenant l'exemple de l'alu sur structure et aluminium épais. Pour un même matériau qui au kilogramme possède exactement le même bilan écologique, nous voyons que la quantité de matière mise en oeuvre a une incidence majeure sur le bilan écologique. Nous pouvons en tirer deux enseignements:

- 1- Essayons de faire des bateaux légers
- 2- Faisons le bateau le plus petit possible, qui permette de répondre à un cahier des charges précis.

En quatrième position il y a le composite fibre de verre-polyester classique, qui vous le savez, possède un bilan écologique peu favorable. Son seul avantage est qu'il est disponible et bon marché. En ce qui concerne sa protection et sa maintenance, il y a relativement peu à faire. Cela répond aux vœux des utilisateurs qui désirent posséder un bateau nécessitant peu d'entretien.

Venons en maintenant aux surprises: abordons les constructions en bois.

Je pense que le bois bénéficie peu être un peu trop rapidement de la connotation de construction écologique. En effet aujourd'hui les constructions en bois sont constituées pour moitié de colles au bilan souvent peu avantageux; d'autre part on néglige les essences indigènes au profit de bois provenant de l'autre bout du monde. Ce bois qui voyage, nécessite une quantité de protection et de systèmes de maintenance qui ne sont pas négligeables, sans oublier les problèmes éventuels liés à son exploitation. En ce qui concerne la maintenance, le bois supportant très mal les infiltrations, et en particulier le contre-plaqué époxy, des problèmes surgissent lorsque le bois est exposé plus de quelques semaines à l'humidité. Le bilan qui au départ pourrait paraître un peu plus écologique que celui d'une construction industrielle ne s'avère pas meilleur, si nous tenons compte de l'entretien et de la maintenance qui sera nécessaire sur la durée de vie.

Parlons maintenant du bordé classique. Le bilan écologique de ce matériau à la construction s'avère très faible. Ceci s'explique par l'utilisation d'essences indigènes, exploitées de façon durable. Il n'est pas question de couper des chênes centenaires sans penser à la façon dont ils vont être utilisés. D'autre part une grande partie de l'énergie est absorbée par la maintenance. Elle nécessite non pas des peintures bi-composantes mais des peintures à base alkyde. Les temps de renouvellement de ces peintures sont beaucoup plus courts et nécessitent la mise en oeuvre de plus de main d'oeuvre et de plus de matière.

En dernière position, observons le ferrociment, qui reste un peu un outsider. Je pense qu'aujourd'hui, cette technique n'est plus tellement utilisée pour faire des bateaux, mais il faut l'observer pour dresser un tableau le plus complet possible.

Après avoir parlé d'énergie, passons à l'analyse du CO₂. Nous constatons que les résultats se modifient passablement. Presque sans surprise, les techniques les moins favorables sont celles basées sur l'utilisation de l'alliage léger, l'aluminium, qui comme nous le savons produit d'énormes quantités de CO₂ à la fabrication. C'est durant cette phase de fabrication que l'on génère cette pollution au CO₂, quasi incontournable. C'est alors que reprennent de l'importance les constructions en bois, qui de façon évidente ont des bilans beaucoup plus intéressants. On retrouve également l'acier qui s'avère lui aussi relativement intéressant. Il faut savoir que ces bilans intègrent déjà la filière de recyclage qui est en place aujourd'hui. Ces bilans seraient radicalement modifiés, si pour une raison X ou Y, on ne s'occupait pas de recyclage ou de déconstruction, ce qui dans le cas des bateaux pourrait être fait assez facilement, car nous avons là, une masse de matière qui peut être amenée dans des lieux de collecte, dans des lieux de recyclage, et être valorisée plus ou moins facilement selon les systèmes constructifs. Il est crucial de penser au recyclage dès le début du projet, dès sa conception. Selon les options choisies, par exemple prenons l'alliage léger, l'aluminium peut être recyclé très facilement. Mais il faut savoir que dans le processus de formation des alliages, il est très difficile de se débarrasser des pollutions, contrairement à l'acier. Dans le cas de l'acier, quand vous jetez une carcasse de voiture à la fonderie, tout ce qui est peinture, huile, et autres restes, vont brûler, et on peut espérer le filtrer avant d'aller plus loin. C'est beaucoup plus difficile dans le cas de l'aluminium, ou il sera extrêmement difficile de se débarrasser des pollutions et impuretés. Cela soulève la problématique des coques ou pièces de carrosserie avec des systèmes de peinture. Il est très difficile de refaire un alliage mécaniquement performant sur la base d'un alliage qui contient des peintures. Donc si l'on souhaite recycler l'aluminium, cela nous oblige à produire des coques non peintes intérieurement et extérieurement, tout en ayant la possibilité de démonter la totalité des équipements et des aménagements de façon relativement aisée. Concrètement, aujourd'hui, nous ne pouvons plus nous payer le luxe de l'ignorance, et il est souhaitable que lorsqu'un client commande un bateau en aluminium, il soit conscient que l'aluminium, comme nous l'avons vu, ça peut être intéressant, à condition de respecter un certain nombre de critères.

Concernant la partie composite, on connaît aujourd'hui des difficultés de recyclage. Il n'existe pas encore de filière ou de solution véritablement au point, qui nous permette d'avancer que nous sommes capables de recycler ou de revaloriser de telle ou de telle façon. Prenons l'exemple du bois. Nous sommes enclins à imaginer que si il est brûlé, il est revalorisé et donc porteur d'énergie pour chauffer ou autre chose. Malheureusement cela n'est pas aussi simple, car le bois contient de grandes quantités de colle et est imprégné de fongicides et autres produits auxquels on fait appel pour empêcher le bois de pourrir. Nous nous trouvons donc face à un déchet qui comme le composite, et malgré une connotation « bio », se trouve être de l'ordre des déchets spéciaux. Il me paraît important de le souligner, car nous devons chercher des solutions. Cependant le bois reste un excellent matériau qui nous a permis de naviguer depuis la nuit des temps. Mais il n'existait pas à l'époque tous ces produits hautement polluants qui viennent s'ajouter à ce matériau, qui à la base est un matériau noble.

Comme je l'ai déjà dit, poids et optimisation, sont des critères fondamentaux, ils peuvent même peut être parfois remettre en question la nécessité de construire; car, pourquoi ne pourrait on pas co-utiliser un bateau? Cela permettrait un usage plus régulier, donc un bénéfice pour le bateau, ainsi que pour les propriétaires qui pourraient posséder un produit plus haut de gamme. Nous avons vu que l'origine des matériaux est cruciale. La distance de provenance a aussi toute son importance, ainsi que la qualité sanitaire, sachant que même le bois peut être un allergénique potentiel suivant la manière dont on l'utilise. La durée de vie a également une grande importance, sachant que l'investissement écologique peut être valorisé au moment de la construction. D'une unité ayant une durée de vie de vingt cinq ans, on peut espérer obtenir un investissement d'un demi siècle, voire d'un siècle. Au regard du nombre d'années d'exploitation et par le fait d'une construction de qualité, nous pouvons réduire le bilan écologique par deux ou par trois, ce qui n'est pas du tout négligeable. En conclusion je dirais que les attributs minimum d'une construction écologiquement acceptable, sont la légèreté, la sobriété, et la qualité. Ces attributs concourent à ce que le voilier demeure une belle machine passive et performante et trouvent leur justification tant sur le plan écologique que sur celui de la performance et de l'agrément.

Gardons à l'esprit qu'aujourd'hui, nous consommons plus que notre écosystème est capable de nous procurer. C'est à partir du milieu des années quatre vingt, que notre consommation a dépassé la capacité de production de la nature. Aujourd'hui nous puisons réellement dans le capital de l'environnement et on ne vit plus seulement sur les intérêts. Le problème majeur est celui qui découle d'une utilisation inconsciente de nos ressources.(app)

CB: Bonjour, je suis enseignant chercheur à l'université de Bretagne sud à Lorient, et je travaille sur les matériaux composites. Cela fait vingt ans que je travaille sur ce sujet. J'étudie les applications sur les bateaux de plaisance, les systèmes et les résines polyester par exemple, ou le problème d'échantillonnage des coques, pour la fédération des industries nautiques . Il faut échantillonner astucieusement les bateaux. Je travaille aussi beaucoup sur les facteurs limitant l'usage de ces matériaux. Nous savons que sans ces matériaux, on ne peut pas faire de grands voiliers de course, on ne peut pas faire non plus d'Airbus ni d'avions. Je travaille aussi sur le lin, une fibre qui a amené la richesse dans notre région, entre autre à Locronan, entre le XVIème et le XVIIIème siècle. Dans ce que l'on appelle les matériaux, on compte trois familles: les métaux, aciers, alus; il y a aussi les céramiques, on parle de béton ou de granite, et puis nous avons des matières plastiques, des polymères. Le composite est un mélange de tout cela. Nous avons donc le choix des matériaux, ils ont chacun des avantages et des inconvénients, il y a simplement de bonnes et de mauvaises utilisations. Malheureusement dans notre société dite de consommation, tout ce que l'on fabrique devient un jour un déchet, c'est un problème récurrent. Les enjeux actuels comportent notamment la gestion de fin de vie. Vous êtes de grands producteurs de déchets, comme moi vous remplissez les poubelles, entre 300 et 600 kilos par an et par habitant. Dans ce que vous mettez dans vos poubelles, il y a énormément de matériaux. Vous jetez des céramiques, des pots en verre, des bouteilles en plastique, des emballages papier... Tout cela est brûlé, mais cela s'apparente à un transfert de pollution d'un état solide à un état gazeux. D'autre part prenons l'exemple d'un agriculteur qui pulvérise des pesticides sur sa parcelle. Si l'on veut développer des matériaux à partir de ressources renouvelables, il faut être cohérent jusqu'au bout, c'est à dire s'intéresser à un produit, du berceau à sa tombe, et s'intéresser aux impacts environnementaux de ces cultures. Nous connaissons bien le problème en Bretagne. Un jour, en me promenant sur la rivière du Bono, un site que je trouve très beau, j'ai remarqué une carcasse d'annexe de type tabur en train de se dégrader. Elle est composée de mousse polyuréthane et d'une enveloppe en ABS. Voici ma première remarque:

Nous sommes d'accord qu'il faut trouver des solutions de fin de vie, mais c'est bien l'utilisateur et non le fabricant qui est responsable de l'abandon de la carcasse; quand on consomme un produit, il faut être cohérent jusqu'au bout.

Juste à côté de ce désolent spectacle, il y avait un banc destiné à contempler ce beau paysage. Ce banc était fabriqué à partir de matières plastiques recyclées, c'est à dire que les lattes du banc étaient issues de la transformation de vieux sacs plastiques. C'est un beau cadeau que nous faisons là aux générations futures: qu'allons nous faire de ces lattes dans cinquante ans? On a donc pensé à très court terme et c' est malheureusement notre modèle de société qui est en cause. On recycle de vieux produits pour en faire de nouveaux, mais si nous n'avons pas de solution pour gérer leur fin de vie à long terme, cela ne sert strictement à rien. Les enjeux sont simples, nous savons qu'aujourd'hui en l'espace d'une seconde, c'est l'équivalent de dix neuf terrains de tennis de forêt qui disparaissent, ou l'équivalent de la Bretagne en

soixante jours. La progression de la désertification dans le monde est de trois mille mètres carré par seconde, dont soixante dix huit mètres carré pour la seule chine.

Nous sommes tous confrontés à la question de l'utilisation des matériaux. La question de l'énergie est un enjeu majeur, il y a un certain nombre de comportements conflictuels dans le monde liés à l'énergie. L'autre enjeu majeur, c'est celui des matières premières. En ce qui concerne le pétrole, nous avons déjà consommé pratiquement la moitié des réserves disponibles sur la planète. Nous savons doré et déjà que les réserves de plomb, de zinc et d'étain s'amenuisent de manière inquiétante.

Que fait-on de nos déchets en fin de vie? Soit nous les brûlons, soit nous les réutilisons. Dans la nature il existe la biodégradation qui engendre le CO₂ et l'eau nécessaires à la production de matériaux de construction. L'éco-conception se traduit ainsi: nous devons essayer de gérer l'impact de notre comportement sur l'environnement, en tenant compte des attentes des clients, de notre maîtrise technique, mais aussi de notre maîtrise des coûts.

Sur les bateaux on rencontre des problèmes de fiabilité de la structure des matériaux. Nous essayons de concevoir des bateaux de plus en plus légers, nécessitant un minimum de matériaux, car moins nous aurons de déchets de fabrication, mieux nous gérerons la fin de vie des matériaux et par la même des bateaux. Prenons l'exemple des éoliennes; pour qu'elles durent trente ans, il leur faut durer deux ou trois fois plus longtemps qu'une pale d'hélicoptère ou plusieurs milliers de fois plus qu'une aile d'avion. Nous avons là des structures très performantes et très complexes qui nécessitent de nombreux outils de conception. En ce qui concerne la construction navale, nous possédons les outils, pour mieux appréhender, mieux échantillonner, mieux concevoir nos produits. Nous sommes désormais capables d'usiner des coques complètes en très peu de temps. Nous avons fait d'énormes progrès et nous commençons à mieux comprendre les mécanismes d'imprégnation et de réalisation de ces composites. Cependant il nous reste encore beaucoup de travail.

Qu'est ce que le composite? Vous avez tous vu une tablette de chocolat avec des noisettes. L'idée est la suivante, nous avons une matrice: le chocolat, et un renfort: les noisettes. Si nous voulons plus de propriétés mécaniques, il nous faut un chocolat renforcé avec des amandes. Plus on va utiliser de fibres, plus les performances mécaniques vont être intéressantes. Nous étudions la manière la plus judicieuse d'orienter les fibres. Des modèles existent déjà dans la nature. Prenons la boîte crânienne humaine, elle est constituée de matériaux composites, renforcés par des fibrilles de collagène. Si l'on regarde la carapace d'un crabe, c'est aussi un composite renforcé par des fibrilles de chitine, de même que le monde végétal est renforcé par des fibrilles de cellulose. Si l'on compare les mécanismes de rupture d'une tablette de chocolat et d'un morceau de carbone époxy, nous constatons que nous avons exactement les mêmes mécanismes de rupture. On s'aperçoit aussi, que moins il y a de matière, plus c'est résistant; débarrassée de cette matière superflue, la performance mécanique de la structure s'en trouve renforcée. Pour ma part, je travaille sur la recherche de matériaux dans lesquels le liant, c'est à dire la résine, qui est d'origine pétrolière, serait remplacé par un liant d'origine végétal. Les amidons pourraient remplir ce rôle, de même que les fibres végétales comme le lin, mais aussi le chanvre, les orties, les zostères... Afin de rappeler que les structures de matériaux composites existent déjà dans la nature, prenez une zostère-attention ce n'est pas une algue-et déchirez la. Tous les petits filaments que vous voyez, possèdent des propriétés mécaniques très intéressantes. Demain peut être serons nous capables de créer des composites à partir de matériaux issus de la mer. Nous avons publiés quelques résultats intéressants sur ce sujet, mais aujourd'hui, les zostères par exemples, poussent dans des zones protégées, leur récolte n'est donc pas envisageable. Précisons également qu'une origine naturelle des fibres, ne signifie pas forcément une totale innocuité pour les personnes. Je pense à l'amiante qui tue une personne toute les trois heures en France. Par contre certaines fibres végétales contenues dans les tiges de certaines plantes, comme le lin, le rami, les orties, sont très intéressantes. Nous pouvons porter notre attention sur les feuilles ou les enveloppes de fruits, comme la noix de coco. Les fibres sont des tissus de soutien, elles jouent donc réellement un rôle de structure. Nous pouvons utiliser ces fibres comme renfort de matériaux composites. Si nous observons une tige de lin, nous distinguons parfaitement la structure fibrière de la paroi végétale. C'est déjà, à l'état naturel, un matériau composite renforcé par des fibrilles de cellulose. Cet exemple de quasi nanotechnologie naturelle est très intéressante, car elle est à la fois résistante et bio-compostable en fin de vie. Il est important de souligner que les fibres naturelles sont deux fois plus raides que les fibres de verre, qui représente à lui seul 95% des applications mondiales dans le domaine des composites. Or la résistance de ces deux matériaux est tout a fait équivalente.

Il existe beaucoup de variétés de fibres végétales, elles possèdent de très hautes performances mécaniques. Pourquoi sommes nous en train de le redécouvrir? En voici la raison: nous possédons maintenant des outils

d'exploration scientifique à l'échelle atomique, qui nous permettent de mieux comprendre l'origine de ces propriétés. Il existe trois cent variétés de lin, nous ne savons pas encore si c'est la variété qui est importante où les conditions de culture. Le lin cultivé en Bretagne au XVIII^{ème} était très reconnu pour ses performances, il permettait entre autre de fabriquer des voiles. Ces fibres, nous venons de le voir possèdent de nombreuses qualités, elles sont bio-compostables, biodégradables en fin de vie et enfin, peuvent être gérées de façon naturelle. Pourquoi ne pourrait-on pas s'inspirer de cet exemple, pour créer des composites qui soient entièrement bio-compostables et durables.

Qu'en est-il des bio-plastiques? Ce sont des matériaux faits à partir de polymères bio source, c'est à dire à partir de matière naturelle transformée, telle que la pomme de terre par exemple. On utilise aussi le pétrole pour créer un polymère gérable en fin de vie par bio-compostage, ce qui signifie : assimilable par des bactéries. Nous sommes dorés et déjà capables de créer des matériaux composites à partir de fibres végétales et de polymères bio source. A masse égale, ces matériaux ont des propriétés mécaniques équivalentes aux matériaux renforcés par des fibres de verre et des résines polyester. Ils sont durables, résistent à l'eau, et, en fin de vie, ils peuvent être broyés et compostés. Enfin, ces déchets vont être re-transformés en eau et en CO₂ par les bactéries. L'idée est de créer un cycle. D'un coté, on a la production agricole, qui absorbe du CO₂ et de l'eau pour produire des cultures génératrices de fibres, de composants: des synthons. A partir de ces matières, nous allons fabriquer des polymères que nous allons transformer sous forme de plasturgie. La pièce ainsi fabriquée va être utilisable pendant x années. En fin de fin de vie, nous pouvons la recycler pour en faire une autre pièce, où utiliser la matière broyée pour en faire du compostage.

Il est important de changer notre manière d'appréhender ce monde. Imaginez un tube de carton, généralement il est composé de fibrilles de bois, de parois cellulaires. Un architecte japonais que j'aime beaucoup, imagine des structures entièrement a partir de tubes de carton assemblés. C'est très résistant, très léger , nous savons gérer ce matériau en fin de vie, nous pouvons assembler par dessus des panneaux en contre-plaqué, en y rajoutant pour l'étanchéité, des panneaux en polymère. Suivant la progression de la société de consommation, nous sommes condamnés à optimiser nos structures. Nous devons minimiser notre consommation en énergie sur les matériaux que nous utilisons, sur nos manières de nous déplacer, sur notre manière d'agir en général. Nous devons considérer l'énergie au sens large du terme et non seulement quand il s'agit de remplir le réservoir de notre voiture. Cependant il faut souligner qu'il n'est pas si simple de développer des agro-matériaux, car le contexte de l'agriculture n'est pas favorable. Il n'est pas simple non plus de développer de nouvelles filières industrielles. On ne sait pas très bien aujourd'hui, comment proposer la mise en valeur des fibres végétales. Bien que le monde industriel soit intéressé, le monde agricole, lui, reste prudent.

En clair, il faut savoir faire le tri dans les informations qui nous arrivent quotidiennement. Pour le cas des bio-carburants, par exemple, nous avons là, affaire à un mensonge. Ces produits n'ont jamais été bio, vous ne pouvez pas les respirer sans conséquences pour votre santé, à la sortie d'un pot d'échappement. De plus, nous ne pouvons pas produire ces carburants à l'échelle dont nous aurions hélas besoin. L'utilisation des agro- matériaux va-elle être limitée au seul interet de remplir nos réservoirs de voitures? Cela fait partie des réflexions actuelles.

D'autre part, on commence à utiliser ces nouveaux matériaux dans le milieu nautique, mais ils necessitent d'être utilisés de manière très judicieuse. La question des matériaux est un problème crucial pour la société de demain. Sans ces matériaux, nous n'aurions pas de bouteilles plastiques, pas d'ordinateurs, pas de vêtements. Nous sommes face à des enjeux très importants. Je souhaite conclure en disant qu'au terme de développement durable, je préfère celui de « soutenable et solidaire », car le vrai enjeu, c'est celui de réintégrer l'homme au centre de ces préoccupations.

JD: Je suis chef d'entreprise. Ma société s'appelle Mantagua, et depuis une dizaine d'années, nous travaillons sur les produits d'éclairage à LEDs. Au risque de décevoir, je dois vous dire que l'historique de l'éclairage LED, n'a pas été au départ un choix de développement durable où solidaire, mais nos recherches ont pris cette orientation sur la base d'un résonement très simple: quand on pratique la plongée sous-marine, le souci est de pouvoir filmer avec un éclairage de qualité, mais aussi de disposer d'une autonomie d'éclairage suffisamment longue. A l'époque, nous étions contraints de descendre sous l'eau avec énormément de batteries afin d'avoir assez de puissance d'éclairage et de pouvoir filmer longtemps. A partir de ce constat, nous nous sommes intéressés au marché de la LED parce que nous nous sommes aperçus que c'est un produit qui permet de faire une très importante économie de consommation. Après avoir évalué le marché,

et par conséquent sa rentabilité, nous avons décidé d'appliquer nos recherches au nautisme. Mon épouse et moi, possédions à l'époque un bateau en bois qui n'avait pas encore de moteur. De ce fait nous avons des problèmes lors de la navigation de nuit, car nous utilisions de simples feux avec des piles. Au delà de ça, nous avons aussi un problème pour l'éclairage global du bateau, quoique à l'époque, cela n'était pas si désagréable, mais occasionnait beaucoup de contraintes. Pendant toutes ces années, nous avons cherché des solutions, et nous sommes aujourd'hui en mesure de proposer un produit pour les feux de navigation, qui répond à toutes les normes de la réglementation actuelle, en particulier IMO (Internationale Maritime Organisation). Nous avons également développé toute une série de produits pour l'éclairage intérieur. Aujourd'hui nous travaillons beaucoup sur la basse tension et également sur le 220 volts.

Moralité: avant l'éclairage dépendait beaucoup de l'énergie du moteur, aujourd'hui, avec un éclairage LED, équivalent en terme de puissance, vous obtenez une durée d'éclairage jusqu'à sept fois supérieure, sans faire tourner votre moteur. Donc, étant donné que le moteur tourne moins, vous utilisez moins de carburant et moins d'énergies polluantes. C'est un premier constat et il est assez pragmatique. En ce qui concerne l'éclairage intérieur, dix de nos ampoules correspondent à une seule ampoule hallogène de dix watts, et on a une puissance tout à fait équivalente. S'il est vrai que l'éclairage LED était à ses débuts un peu froid et peu convivial, nous avons fait de grands progrès et nous disposons aujourd'hui d'une lumière plus jaune, donc plus chaleureuse.

Aujourd'hui la mission première des gens qui sont sur le terrain et qui vendent des équipements, est de sensibiliser les consommateurs et gens de mer à une réduction de la consommation d'énergie notamment à bord des bateaux. Donc avant d'envisager d'installer une éolienne ou des panneaux solaires sur votre bateau, réfléchissez d'abord à ce que vous pouvez déjà éventuellement économiser comme énergie. En terme d'économie d'énergie, il nous faut prendre conscience qu'il ne suffit pas de faire poser des panneaux solaires ou des éoliennes pour réduire la facture énergétique, mais bien que nous devons commencer à réfléchir sur notre comportement au quotidien. A la maison, par exemple, posons nous la question: est ce vraiment nécessaire de tout allumer, moins d'éclairage ne suffirait-il pas? En terme de recyclage, une ampoule à éclairage LED, a une durée de vie cinquante fois, et même plus, supérieure à celle d'une ampoule à filaments. Selon une directive européenne applicable depuis 2006, les sociétés d'électronique, comme la nôtre, doivent utiliser des alliages pour le brasage, c'est à dire pour les soudures. Auparavant, ce brasage était beaucoup effectué à base de plomb, maintenant nous utilisons l'étain ou le cuivre, ce qui permet d'obtenir un produit possédant une meilleure classification. Nous respectons ce type de directive, c'est loin d'en être aussi sur pour la Chine, qui n'a pu nous certifier qu'ils allaient utiliser ce type de brasage. Par conséquent, il est primordial que cet effort soit poursuivi unilatéralement. De même, le choix d'un moindre prix, ne signifie pas forcément un moindre impact sur l'environnement. Mantagua, notre entreprise a fait le choix de la qualité et du respect de l'environnement. Pour ce faire, il nous a fallu changer nos appareils, ce qui n'est pas évident pour une entreprise qui n'est pas une multinationale, mais seulement une petite PME française. C'est pour cette raison, que toutes les directives qui sont prises se répercutent sur nos prix de vente, et en conséquence, nos produits sont plus chers que ceux qui proviennent d'Asie.

Question hors micro...

CB: Je travaille sur ce sujet depuis 1991, et j'ai eu du mal à me faire prendre au sérieux. A partir de 2003, les mentalités ont commencé à changer, et depuis 2005/2006, ça avance. Dans presque toutes les voitures françaises, il y a des pièces qui contiennent des fibres végétales, principalement du chanvre, des sacs de café en jute recyclés... Il y a également toute une valorisation de l'étaupe de lin qui s'est mise en place. Nous essayons de passer à l'étape supérieure, c'est à dire de fabriquer non seulement des pièces d'habillement, mais aussi des pièces de structure. Nous sommes en bonne voie. L'effet que j'appellerais « Al Gore et Hulot » est indéniable.

Question du public: En mélangeant de la fibre de lin, du chanvre ou autre, à du polyester, n'allons nous pas nous retrouver avec un matériau impossible à recycler?

CB: Si j'ai conçu un kayak entièrement de cette manière, c'était simplement pour montrer à un grand reporter de France 3 que construire une structure de bateau avec ces nouveaux matériaux, n'est pas un défi irréaliste. Aujourd'hui on développe ces bio-composites en milieu marin

Du public, hors micro : J'ai bien vu le kayak. N'allons nous pas nous tromper en prenant de la fibre de lin ou

de chanvre ou autre, et en la mélangeant à du polyester. N'allons nous pas nous retrouver avec un matériau impossible à recycler ?

CB : Vous avez raison, mais j'ai bien dit que ce bateau n'était pas produit industriellement. L'histoire de ce bateau a commencé simplement parce que lors d'un salon nautique nous avons retrouvé un grand reporter de France 3 qui m'a dit « C'est bien beau mais vous n'êtes pas capable de faire un bateau avec ça, et si vous le faites je viens le filmer ». Nous lui avons donc montré que c'est possible. Mais ce n'est pas un produit industriel, et de plus les fibres utilisées ne sont pas produites aujourd'hui. Pourquoi avons nous utilisé de la résine polyester ? Simplement parce que si nous voulons travailler avec des matrices de type PLA, PHA, des bio-polymères, il faut augmenter la température et la pression ; je ne vois pas comment nous pouvons demander à une PME de mettre deux cent ou trois cent mille euros sur la table pour avoir de l'outillage chauffant. L'idée était donc de montrer que c'était possible, ce que nous avons fait. Aujourd'hui ces bio-composites sont développés en milieu marin. Nous avons d'ailleurs un contrat avec le pôle mer, Jean-Marie Finot et Catherine Chabot sont impliqués, mais il y a aussi Ifremer et des structures du même type. Nous sommes en train de développer ces nouveaux matériaux avec ce mélange matrice-biocompostable et biosourcé et fibres végétales. C'est normalement une alternative pour demain. Il s'agit ensuite de faire passer ces nouvelles alternatives, il faut que les coûts soient acceptables, il faut aussi que les consommateurs achètent les bateaux. Et puis ce n'est sans doute pas la coque que l'on va produire en premier, ce sont d'avantage les pièces d'habillage. Nous allons d'abord changer les aménagements, nous allons progresser étape par étape. Il ne faut pas essayer de tout révolutionner. Il y a des choses qu'on ne connaît pas. Dès que vous passez d'un thermodur à un thermoplastique vous changez de technologie, vous changez de métier. Vous êtes sur des biopolymères qui sont encore peu disponibles. La cohérence de tout cela est un peu compliquée. Tout est basé sur des analyses de cycles de vie, tel que l'a montré le premier exposé, et c'est pour cela que ce produit n'est pas été fabriqué industriellement, c'est tout.

Du public (hors micro) : ... Mais la fibre de verre, une fois débarrassée de cette matrice polyester, ne pourrait-on pas imaginer qu'elle soit cyclable...

CB : Ce sont des voies qui sont développées chez Vetrotech Saint Gobain pour faire des fibres hydrosolubles. Ça a été développé pour résoudre des problèmes d'inhalation de fibres. Avoir une carcasse qui se biodégrade... même si ce n'est pas tout à fait de la biodégradation, c'est un phénomène d'hydrolyse. Mais il faut simplement faire le bilan énergétique de tout cela. Pour la fibre de verre il faut chauffer à mille degrés, pour les plantes il faut seulement mettre trois graines dans un champ. Et si vous co-valorisez les produits ça devient tout à fait cohérent : vous pouvez avoir une partie de la plante qui part pour l'alimentation, une partie qui part pour les matériaux, voire l'énergie.

Les fibres de verre sont des fibres très performantes, sauf que lorsque vous brûlez le polymère, et que vous récupérez les fibres, cela crée des défauts, donc vous aurez altéré leurs propriétés mécaniques. Et ça coûte assez cher. Ce n'est donc pas du tout rentable, et on ne sait pas les valoriser. On pourrait en faire de la charge mais c'est une fuite en avant ; c'est un problème de déchets, on transporte le problème en disant que les générations futures se débrouilleront, et c'est ce qu'il faut absolument éviter. On le voit sur les emballages, les fibres de paillage agricole, il y a eu des gros travaux de faits.

C'est vrai que l'emballage alimentaire nous embête, puisqu'on en remplit nos poubelles, mais il ne faut pas oublier la sécurité alimentaire que cela a amené. Vous parlez des bouteilles en verre mais cela me choque, car dans d'autres pays – en France on est un peu des petits coqs –, au Danemark, en Angleterre, les bouteilles en verre sont triées selon la couleur de verre... et puis il y a des endroits où on ne les casse pas... comme c'est le cas au Danemark ou en Suède. Est-ce en fait, cohérent de recasser pour refaire du verre ? Ca c'est aussi des débats. Est-on obligés de développer... voilà des bouteilles d'eau, qu'est ce que c'est ? C'est du transport, de pétrole principalement, c'est lié à une agriculture qui a peut-être dérivé – je n'accuse pas le monde agricole, je veux dire qu'il faut que l'on trouve des solutions collectives, parce que dans le système on ne fait jamais payer les coûts environnementaux et sociaux aux pollueurs, c'est la société qui les prend en charge. Il y a d'autres pays, l'Allemagne par exemple, qui a commencé à protéger les sources d'eau potable. Je prends l'exemple d'Augsbourg en 1898. Nous avons un siècle de retard.

H : Je vois que c'est toujours très intéressant d'avoir des bouteilles plastiques quand il y a des débats.

CB : Oui car le fond du problème c'est que nous savons bien que nous devons développer des éco-technologies et la valorisation des agro-ressources, sauf que ça ne suffira pas. Nous n'arriverons pas à changer. Si les gens ne changent pas de comportement individuel et collectif, si il n'y a pas un changement aussi de méthode de pensée, nous allons droit dans le mur. Et nous le savons tous.

Du public : Juste une petite anecdote. On voit fleurir de plus en plus des publicités sur le tri sélectif, afin de le valoriser. Je passe devant une de ces publicités qui m'énerve à chaque fois que je la vois : « Dix bouteilles en plastique = une veste polaire », une veste polaire pour faire quoi ? Pour aller faire du ski et pour dépenser peut-être un milliard de fois plus d'énergie. Donc que gagnerons-nous en revalorisant cette bouteille de plastique pour en faire une polaire ?

CB : Vous avez tout à fait raison. Mais moi je suis allé beaucoup plus loin que vous : les bouteilles en plastique on en fait quoi réellement ? On en fait des polaires ? Il y en a 65% qui passent dans les incinérateurs pour faire brûler les ordures ménagères. Donc c'est bien d'inciter les gens à faire du tri, mais a-t-on réellement besoin de ces bouteilles ?

H : J'ai envie de poser une question. Nous avons parlé du bois, et le bois n'est pas si écologique que ça. Evidemment il faudrait aussi parler de la gestion des forêts et d'un certain nombre de choses. J'ai entendu parler à deux ou trois reprises de la réтификаtion: ce procédé permet-il d'utiliser moins de produits d'entretien, moins de colles et de mieux valoriser les essences locales ?

CB : Je ne suis pas un spécialiste mais pour moi, on monte en température et on modifie la composition de la paroi cellulaire et de ce fait, on la fragilise. La logique c'est d'essayer d'utiliser des parois végétales qui ont des teneurs en cellulose et des orientations des microfibrilles nettement supérieures avec des cycles de croissance plus intéressants que le bois, c'est tout. Donc c'est pour cela qu'on s'intéresse aux plantes à fibres.

Du public : Sur le bilan écologique du bois je suis quand même un peu réservé. Est-ce que tous les phénomènes qui sont en amont, c'est-à-dire toutes les plantations forestières, l'impact des massifs forestiers sur le CO₂, etc ont été pris en compte ? Parce qu'il me semble que plus nous utilisons du bois, plus nous faisons du bien à l'atmosphère et plus nous faisons du bien à la Terre, non ? Je suis tout à fait d'accord qu'il faut avoir une réflexion en amont pour faire en sorte que ce bois soit le plus possible réutilisable ou recyclable. Mais il me semble quand même que le bilan est très positif et qu'effectivement nous avons intérêt à produire du bois aujourd'hui, et bois de qualité.

PG : Faire ces écobilans n'est pas une mince affaire, et loin de là. Parce que si vous prenez le même type de bois mais de deux provenances différentes, votre bilan écologique sera déjà différent. Prenez simplement une planche de chêne qui a poussé à deux kilomètres du chantier et une autre qui a été importée d'un pays de l'Est, vous vous rendez-compte tout de suite qu'il n'y a pas uniquement le bois mais aussi toute une part qui revient à l'exploitation, qui engendre une consommation d'énergie : le transport, la transformation, la préparation, pour arriver à deux planches qui, à l'œil, sont strictement identiques. Ça c'est déjà un premier constat, l'origine a son importance. Et puis il y a un ensemble de transformations engendrées simplement par l'exploitation forestière. Nous avons vu, par exemple, que le bilan CO₂ du bois, est très intéressant – c'est ce qu'on a vu pour les bordés classiques, que j'ai évalués sur la base d'essences indigènes, c'est-à-dire produites dans un rayon raisonnable du lieu du chantier, donc de la consommation, évitant des grands transports internationaux dans des soutes de cargo avec tout un ensemble de besoins qui en découlent, que ce soit la construction d'installations portuaires, les engins de transport etc. Ça montre simplement d'une part la difficulté d'établir quelque-chose de précis. Cela montre aussi que même si on utilise une ressource indigène, elle n'est pas complètement exempte d'une consommation, d'un investissement énergétique, même si ce n'est que la sueur d'hommes pour scier un arbre et le porter.