

LA ROUTE & LE DEVELOPPEMENT DURABLE

« Le développement durable » ou son équivalent en anglais « Sustainable development » est une expression, apparue pour la première fois en 1980 ; dans une publication de l'union internationale la conservation de la nature (UICN), intitulée « La stratégie mondiale de la conservation » et ce n'est qu'en 1987 que le rapport de la « Commission mondiale sur l'environnement et le développement, notre avenir à tous » donne la définition du « Développement durable » et qui est comme suit :

« Un développement qui répond au besoin du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs »

Le principe du développement durable (D.D) est basé sur le fait qu'il faut remédier aux insuffisances d'un modèle axé uniquement sur la croissance économique, en reconsidérant notre façon d'agir et de faire.

Il faudra alors :

- Maintenir l'intégrité de l'environnement
- Assurer l'équité sociale
- Viser l'efficacité économique : pour créer une économie innovante et prospère, écologiquement et socialement responsable.

Il en résulte, que le but ultime du D.D est la réconciliation de trois modes qui se sont longtemps ignorés : L'écologie, l'économie et le social.

A long terme, nul développement n'est durable, s'il n'est pas économiquement efficace, socialement équitable et écologiquement tolérable.

II- LE DEVELOPPEMENT DURABLE ET LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Ne pas compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs besoins, est aussi limiter l'action de l'homme sur le changement climatique, réchauffement ou refroidissement, car certaines formes de pollution de l'air,

résultant des activités humaines, menacent de modifier sensiblement le climat dans le sens d'un réchauffement global. Ce phénomène peut entraîner des dommages importants, et risque de compromettre la vie des futures générations.

Cette pollution provenant des activités humaines, est en partie due à l'émission de ce qu'on appelle les « Gaz à effet de serre » G.E.S, qui agissent sur la couche d'ozone et donnent lieu à ce changement climatique.

Avant de faire le lien entre la route et le développement durable il serait intéressant de donner quelques définitions.

a- Couche d'ozone

La couche d'Ozone est la partie de l'atmosphère située entre vingt et cinquante Kilomètres d'altitude (Stratosphère). La concentration en ozone y est de l'ordre de dix parties par million.

L'ozone de la stratosphère absorbe la plupart des rayons ultraviolets dommageables (rayon UV-B) sur le plan biologique. L'absorption des rayons ultraviolets par l'Ozone crée une source de chaleur qui forme la stratosphère (Une région où la température augmente avec l'altitude). Elle joue donc un rôle déterminant dans la structure de la température de l'atmosphère terrestre. Sans l'action filtrante de la couche d'ozone, les rayons UV-B pénétreraient librement l'atmosphère et attendraient la surface de la terre provoquant des effets néfastes liés à l'exposition excessive aux rayons. Les UV-B altère l'ADN et s'avère à ce titre fortement mutagène sur les plantes et les animaux.

Les instruments terrestres et les satellites ont enregistré une baisse de l'ozone stratosphérique en raison des activités humaines avec les émissions de gaz tel que les CFC, les halons etc... La quantité d'ozone qui se situe au-dessus de certaines régions de l'Antarctique (qui porte le nom de colonne d'ozone) est

appauvrie jusqu'à 60% pendant le printemps en Antarctique (de Septembre à Novembre). Ce phénomène porte le nom de trou d'ozone antarctique. Une situation semblable se produit vers la fin de l'hiver et au printemps au cours de 6 des 9 dernières années, dans les régions polaires de l'Arctique.

B- Effet de serre

Les rayons du soleil qui atteignent la terre réchauffent sa surface et sont absorbés à hauteur des deux tiers. Sous l'effet de la réverbération, le tiers restant est renvoyé sous forme de rayonnement infrarouge vers l'espace, mais se trouve en partie piégé par une couche de gaz située dans la basse atmosphère : celle-ci renvoie la chaleur vers la terre et contribue à la réchauffer davantage.

Grâce à ce phénomène naturel, appelé effet de serre, la température moyenne de l'air à la surface de la terre est d'environ +15°C. Sans ce thermostat naturel, la température moyenne serait inférieure d'environ 33° C et se situerait autour de -18°C !!!

Cet effet de serre résulte pour les deux tiers de l'absorption de chaleur par la vapeur d'eau et les nuages (qui évoluent entre le sol et 12 Km d'altitude). Le troisième tiers résulte de l'interaction d'un certain nombre de gaz dits à effet de serre (ou GES) qui se situent environ à 15 Km au-dessus du sol. En majeure partie, leur origine est naturelle, mais la proportion due à l'activité humaine, qui est dite d'origine anthropique, s'accroît depuis le début de l'ère industrielle (1750).

L'augmentation incontrôlée de l'effet de serre pourrait provoquer selon les pires prévisions (violents incendies de forêts dus aux sécheresses et réchauffement progressif des océans entraînant la fonte puis la remontée à la surface du méthane stocké au fond de mers) une augmentation de la température du globe

jusqu'à 10°C en moyenne d'ici à 2150 si rien n'est fait pour diminuer les rejets humains de gaz à effet de serre.

III- QUELS SONT LES GAZ A EFFET DE SERRE ?

Les gaz sont de deux natures :

- Naturels
- Industriels

III-1 Les gaz « naturels » a effet de serre.

Les deux principaux gaz responsables de l'effet de serre de la terre (depuis que notre planète a une atmosphère qui ressemble à l'actuelle, et pas seulement depuis 100 ou 200 ans) sont :

- La vapeur d'eau (H₂O),
- Le gaz carbonique (CO₂).

Il en existe d'autres, et même beaucoup d'autres. Certains, comme le CO₂ et la vapeur d'eau, sont « naturels », c'est-à-dire qu'ils étaient présents dans l'atmosphère avant l'apparition de l'homme. Cette présence ancienne signifie, par la force des choses, qu'ils possèdent des sources naturelles, mais aussi des « puits », qui retirent les gaz en question de l'atmosphère et permettent à la concentration de rester à peu près stable. Pour l'eau de « Puits » s'appelle...la pluie, et pour le CO₂ une partie du puits est tout simplement la photosynthèse.

Outre la vapeur d'eau et le gaz carbonique, les principaux gaz « Naturels » à effet de serre sont :

- Le méthane (CH₄), qui n'est rien d'autre que...le gaz naturel de nos cuisinières,
- Le protoxyde d'azote (N₂O), nom savant dugaz hilarant (qui ici ne l'est plus tellement),
- L'ozone (O₃), molécule formée de trois atomes d'oxygène (Les molécules du gaz oxygène « normal » comportent 2 atomes d'oxygène seulement).

Dire que ces gaz sont « Naturels »- et donc qu'ils ont des sources naturelles- ne signifie bien évidemment pas que l'homme n'a pas d'influence sur leur émissions.

Pour les 3 gaz mentionnés ci-dessus, comme pour le CO₂, il est avéré que l'homme ajoute sa part et a augmenté leur concentration dans l'air de manière significative.

C'est du reste pour cela que, comme pour le CO₂, le méthane et le protoxyde d'azote sont pris en compte dans les accords internationaux (comme le protocole de Kyoto par exemple). Ce n'est pas le cas de l'Ozone, mais cela est dû à des difficultés pratiques et non à une absence d'influence sur le climat.

II-2 Les gaz « Industriels » à effet de serre.

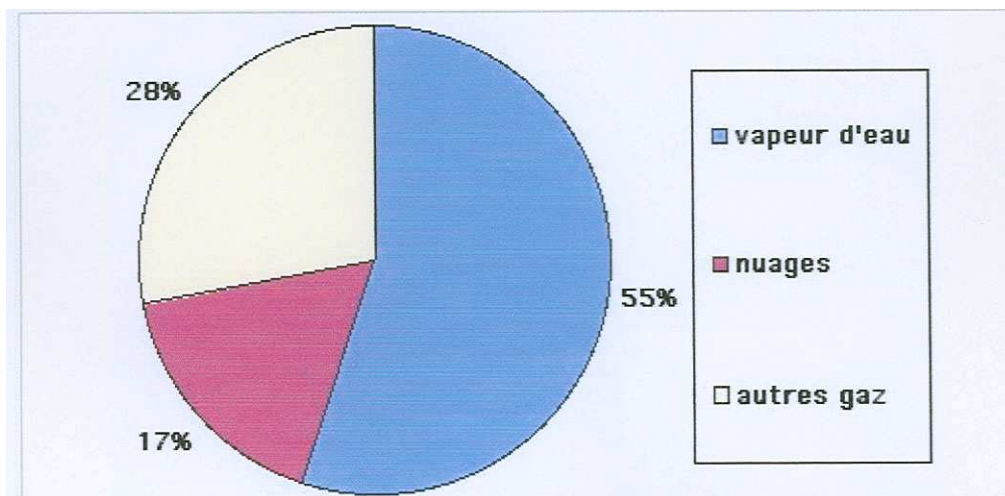
A côté des gaz « naturels » à effet de serre, il en existe d'autre, « Artificiels » : Ils s'agit de gaz industriels qui ne sont présents dans l'atmosphère qu'à cause de l'homme. Les principaux gaz « industriels » à effet de serre sont les halocarbures : Il s'agit d'une vaste famille de gaz obtenus en remplaçant, dans une molécule d'hydrocarbure (Le propane, le butane, ou encore d'octane, que l'on trouve dans l'essence, sont des hydrocarbures), de l'hydrogène par un gaz halogène (le fluor, le chlore...). Les molécules ainsi obtenues ont deux propriétés importantes pour nous :

- Elles absorbent très fortement les infrarouges, beaucoup plus que le gaz carbonique à poids égal,
- Certaines d'entre elles sont très « solides » : elles sont chimiquement très stables dans l'atmosphère, et seule la partie la plus « énergétique » du rayonnement solaire et intersidéral (Les ultraviolets et les rayons cosmiques) peut « casser » les plus résistantes de ces molécules une fois qu'elles sont dans l'atmosphère. Comme ces processus sont lents et n'interviennent que loin du sol, ces molécules d'halocarbure sont donc des durées de vie dans l'atmosphère qui peuvent être très longues, car il faut

attendre qu'elles diffusent dans la stratosphère donc qu'elles montent haut alors qu'elles sont souvent très lourdes -avant d'être « cassées », et cela peut prendre des milliers d'années.

Quels sont les gaz qui font le plus d'effet de serre et d'où viennent-ils ?

Si nous ne nous occupons pas de la raison pour laquelle les gaz à effet de serre sont dans l'atmosphère, celui qui engendre le plus d'effet de serre estla vapeur d'eau.



Répartition des contributions à effet de serre des différents gaz présents dans l'atmosphère : L'eau, sous toutes ses formes, en représente les $\frac{3}{4}$. La partie « autre gaz » est essentiellement due au gaz carbonique ou CO₂ Source : GIEC

Mais si l'on se limite à l'effet de serre d'origine humaine, que l'on appelle parfois effet de serre « additionnel » (parce qu'il se rajoute à celui d'origine naturelle), ou anthropique, la répartition par gaz est totalement différente (merci de ne pas me faire remarquer que le total fait 105% ! Les pourcentages ont été arrondis...) :

♦ Le gaz carbonique engendre environ 55% de l'effet de serre dû à l'homme. Ce gaz comporte bien sûr des émissions naturelles (La respiration des animaux, une partie de la putréfaction, les incendies naturels, ou encore le réchauffement de l'océan de surface) très importantes, mais elles sont compensées par des

« puits » tout aussi importants (le refroidissement d'autres portions de l'eau océanique de surface, et la photosynthèse). Le gaz carbonique venant des activités humaines (on parle d'émissions anthropiques, c'est-à-dire provoquées par l'homme) provient :

- Pour l'essentiel de la combustion des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz),
- Pour partie de certaines industries (par exemple pour la production de ciment),
- Enfin pour une part non négligeable de la déforestation, notamment en zone tropicale (voir la page sur les puits pour les explications).

♦ Le méthane engendre environ 15% de l'effet de serre anthropique. Le méthane est un gaz qui se forme dès qu'un composé organique (un reste d'animal ou de plante) se décompose à l'abri de l'oxygène de l'air (par fermentation ou putréfaction), par exemple au fond de l'eau ou sous terre. Les réserves de gaz naturel ne se sont pas formées autrement que par la décomposition, il y a très longtemps, de plantes et d'animaux, qui se sont d'abord transformés en hydrocarbures liquides, puis en gaz.

Une partie du méthane présent dans l'atmosphère est donc d'origine parfaitement naturelle, provenant notamment des zones humides (marécages, marais, etc...) et des termites.

Mais l'homme y rajoute sa part. Le méthane d'origine humaine provient :

- Pour une part de la combustion, notamment des brûlis en zone tropicale (la combustion du bois est toujours une combustion imparfaite, qui libère dans l'atmosphère des composés mal ou pas brûlés, donc du méthane).
- De l'élevage des ruminants (vaches, moutons, chèvres, yaks...), car les aliments qu'ils ingèrent fermentent dans leur estomac, en dégageant du méthane (à titre informatif il y a environ 20 millions de bovins en France : Le poids des vaches est supérieur au poids des hommes !)

- De la culture du riz, car les zones humides en général émettent du méthane (Ce gaz se forme dès que des composés organiques se décomposent- « Pourrissent »- à l'abri de l'oxygène de l'air, comme par exemple au fond des marécages, ou encore dans les sédiments océaniques),
- Des décharges d'ordures ménagères (encore le « pourrissement » à l'abri de l'oxygène de l'air),
- Des exploitations pétrolières et gazières, à cause des fuites de gaz (le méthane est le principal constituant du gaz naturel), et des mines de charbon (le méthane est le principal constituant du grisou)

Combien de temps restent-ils dans l'atmosphère ?

Les gaz à effet de serre, une fois dans l'atmosphère, n'y restent bien évidemment pas éternellement, mais ça peut prendre un certain temps de les évacuer de cet endroit. L'épuration des gaz à effet de serre de l'atmosphère peut survenir :

- Par un phénomène physique. Par exemple la pluie, phénomène physique (condensation), enlève de la vapeur d'eau de l'atmosphère.
- Par une réaction chimique intervenant au sein de l'atmosphère. C'est le cas pour le méthane, qui s'élimine par réaction avec des radicaux OH naturellement présents dans l'atmosphère, pour donner du CO₂.
- Par une réaction chimique, photochimique ou physique intervenant à la frontière entre l'atmosphère et les autres compartiments de la planète. C'est par exemple le cas pour le CO₂, qui est réduit par la photosynthèse des plantes (réaction photochimique), ou qui est dissous dans l'océan (réaction physique) pour finir par donner des ions bicarbonate et carbonate (par contre le CO₂ est chimiquement stable dans l'atmosphère, et il n'y a pas de réaction purement chimique prenant place au sein de l'atmosphère qui « élimine » ce gaz,
- Soit par mise d'un phénomène radiatif.

Cela étant, on a désormais une estimation de la durée de séjour, c'est-à-dire du temps qui est nécessaire à ce que le gaz en surplus disparaisse de l'atmosphère, pour les principaux d'entre eux. Bien entendu cette durée de séjour (ou de résidence) n'est valide que pour autant que les conditions restent « égales par ailleurs ».

Gaz	Durée de séjour approximative dans l'atmosphère
Gaz carbonique (CO ₂)	100 ans
Méthane (CH ₄)	12 ans
Proxide d'azote (N ₂ O)	120 ans
Halocarbures (CnHalp)	Jusqu'à 50000 ans

On voit immédiatement ci-dessus que l'essentiel des gaz que nous émettons aujourd'hui, y compris le gaz carbonique que nous avons par exemple émis ce matin en venant travailler en voiture, sera encore au-dessus de la tête de nos petits-enfants dans 1 ou 2 siècles. Et bien sûr, pendant tout le temps que ces gaz restent au-dessus de nos têtes, ils contribuent à un effet de serre supplémentaire.

Peut-on comparer les gaz entre eux ?

A fin de pouvoir faire des comparaisons (ce qui est essentiel pour pouvoir faire des plans d'action, car tant que l'on ne sait pas s'il est préférable d'éviter l'émission de 4 Kg de CO₂ ou de 1 Kg de méthane, il est difficile d'établir des priorités, et donc de choisir), on a la possibilité de calculer, pour chacun des gaz à effet de serre, un « pouvoir de réchauffement global » ou PRG, qui permet de savoir de combien on augmente l'effet de serre lorsque l'on émet un Kg du gaz considéré.

Voici les PRG relatifs des 6 gaz ou familles de gaz (Les perfluorocarbures et Hydrofluorocarbures sont des halocarbures particuliers) visés par le protocole de Kyoto :

Gaz	Formule	PRG relatif /CO2 (à 100 ans)
Gaz carbonique	CO ₂	1
Méthane	CH ₄	23
Ptoxyde d'azote	N ₂ O	298
Perfluorocarbures	CnF2n+2	6500 à 8700
Hydrofluorocarbures	CnHmFp	140 à 11700
Hexafluorure de soufre	SF6	23900

Source : GIEC

Enfin plutôt que de mesurer le poids de gaz carbonique, les physiciens - et souvent les ingénieurs- ont pris l'habitude de parler d'équivalent carbone. Tout comme les longueurs se mesurent en mètres, les émissions de gaz à effet de serre se mesurent en équivalent carbone.

Par définition, un Kg de CO₂ vaut 0,2727 kg d'équivalent carbone, c'est-à-dire le poids du carbone seul dans le composé « gaz carbonique »

Pour les autres gaz, l'équivalent carbone vaut :

$$\text{Equivalent carbone} = \text{PRG relatif} \times 0,2727$$

Cela peut sembler très compliqué, mais c'est au contraire très simple. En effet, cette convention permet de savoir combien d'équivalent carbone nous obtiendrons dans le CO₂ résultant de la combustion d'un hydrocarbure donné Il suffit de mesurer le poids de carbone par Kg d'hydrocarbure brûlé, et cela donnera l'équivalent carbone du CO₂ émis (l'hydrogène donne de l'eau, qui ne compte pas, comme expliqué au début de cette page) Simple, dis-je !

Pour les principaux gaz à effet de serre, par exemple, les équivalents carbones sont les suivants :

Gaz	Formule	Equivalent carbone par Kg émis
Gaz carbonique (CO ₂)	CO ₂	0,273
Méthane	CH ₄	6,27
Protoxyde d'azote	N ₂ O	81,27
Perfluorocarbures	C _n F _{2n+2}	1.772,73 à 2.372,73
Hydrofluorocarbures	C _n H _m F _p	38,2 à 3.190,9
Hexafluorure de soufre	SF ₆	6.518,2

La « taxe carbone », envisagée par les états pour décourager l'émission de gaz à effet de serre, utiliserait l'équivalent carbone pour fixer le niveau de la taxe selon les gaz.

Si la tonne équivalent carbone vaut 1.000 euros, alors l'émission d'une tonne de gaz carbonique sera taxée 273 euros, l'émission d'une tonne de méthane 6270 euro, l'émission d'une tonne de protoxyde d'azote 81.270 euros, etc.

IV- LA ROUTE ET L'ÉCOLOGIE

IV-1 L'écologique

Une fois que nous avons une base de comparaison des gaz à effet de serre, les services de recherche de Colas ont mis au point un logiciel appelé « Ecologique », se basant sur la définition des gaz donnée par la convention de KYOTO, et capable de donner une structure quelconque :

- La quantité de GES en CO₂ équivalent (KG/M²)
- La consommation énergétique par structure en (MJ/m²)

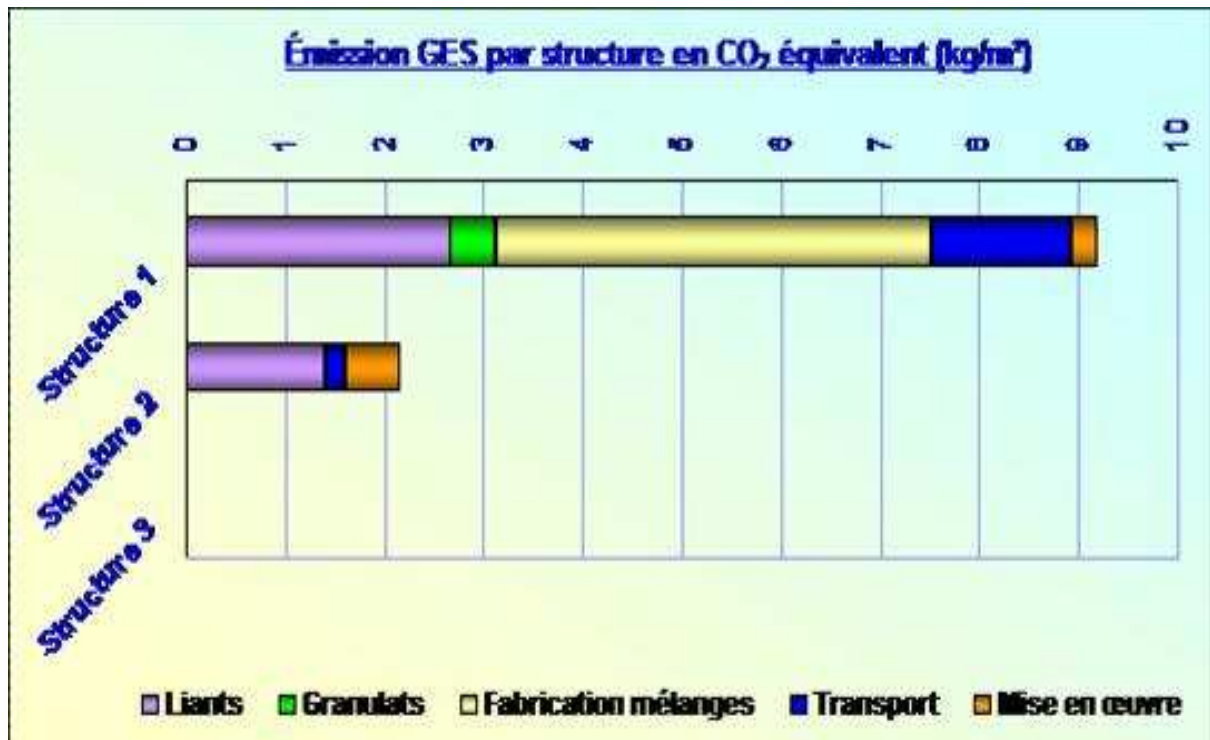
IV-2 Le retraitement des chaussées et l'environnement

Ainsi par exemple, la comparaison de deux structures :

- Structure 1 : 10 cm en grave bitume
- Structure 2 : Retraitement à l'émulsion de 10 cm de chaussée.

Bilan énergétique

Le graphique de la consommation énergétique, issu de l'écologiciel est comme suit :



Il en résulte que la consommation énergétique est de 137 MJ/m², dans le cas de la structure en grave bitume, alors qu'elle n'est que de 101 MJ/m² dans le cas d'un retraitement.

Ainsi, sachant que :

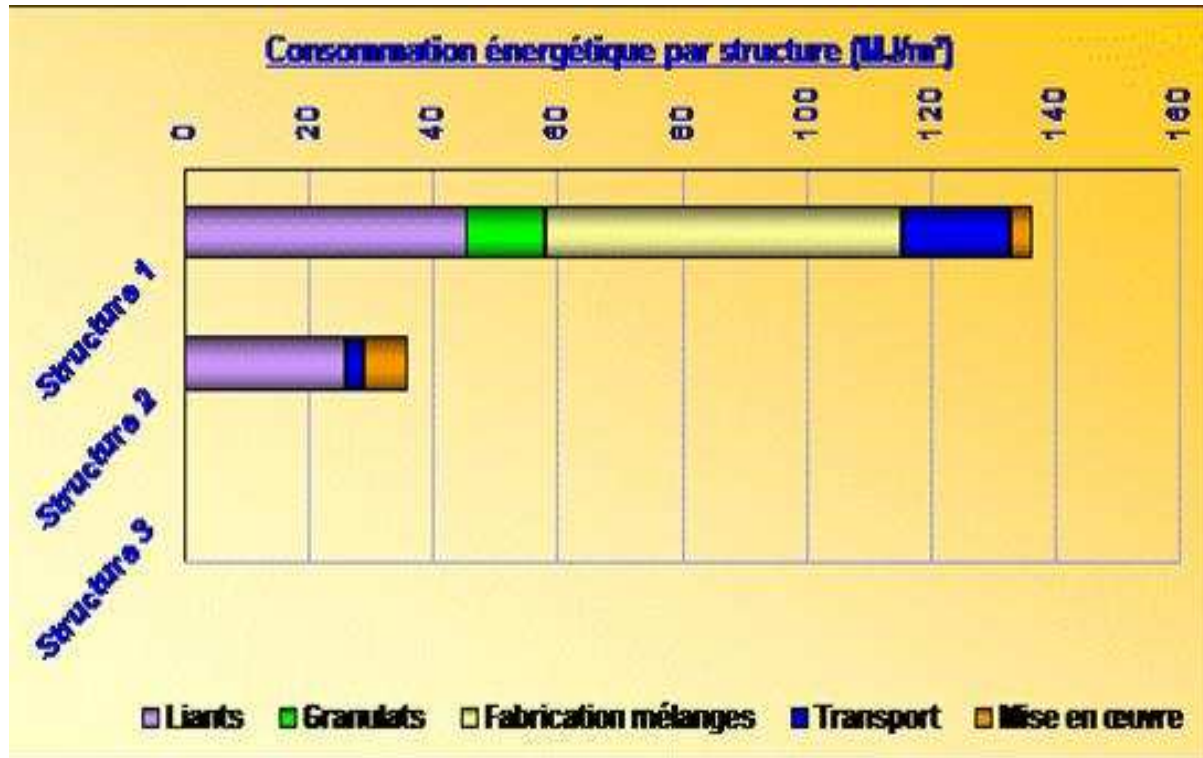
- 1KW-h = 3,6 MJ
 - 1 baril du pétrole = 1700 KW-h = 6,1 GJ
- (Source : <http://bioenergie.ornl.gov/papers/mix/energy-conv.html>)

Sachant que la surface retraitée au Maroc entre 2007 et 2009 avoisine les 1.2 millions m², l'économie réalisée est équivalente à environ.

- 20.000 barils de pétrole ou 1.7 millions de dollars (prix de référence : 85/ le baril)

- Bilan GES

Pour ce qui est du bilan des G.E.S, et comme le montre le graphique ci-dessous.



Nous sommes à 9.2 Kg équivalent CO₂ au m², pour la structure 1 alors que cette émission ne dépasse guère les 2.2 Kg équivalent CO₂ au m², soit un gain de 7 Kg de CO₂ au m². Et là aussi, il serait intéressant de quantifier le gain réalisé en terme d'émission des GES.

Selon toujours la même source :

- 1US gallon gasoline = 3,79l = 2,42 Kg CO₂
- Le gain réalisée pour une surface de 1,2 million de m² (7Kg/m²de CO₂) est de :
 - 11 l/m² gasoline
 - Soit environ l'équivalent de la consommation du trafic Casa/Rabat pendant 12 jours.

CONCLUSION

Le développement durable, n'est nullement un phénomène de mode. Bien au contraire, il s'appuie sur une vision à long terme qui tient compte du caractère indissociable des dimensions environnementales, sociales et économiques.

Dans le domaine routier, l'innovation conduite et encouragée par les donneurs d'ordre par les entreprises, et la mise au point de nouveaux produits et procédés, a permis de réaliser un effort important en matière d'environnement et d'économie.

Ces produits et procédés innovante, ont pour certains d'entre eux dépassé le stade de l'expérimentation et sont devenus des techniques à part entière.

L'article a présenté « L'écologiciel » et a donné comme exemple des procédés, ayant un impact positif sur l'environnement et l'économie tel « Le retraitement des chaussées à froid », mais bons nombres d'autres produits peuvent servir d'exemple comme les enrobés à modules élevés (EME), ou les bétons bitumineux à modules élevés (BBME), en raison de l'économie que l'on peut réaliser sur les structures comparativement à des produits classiques et la liste est loin d'être exhaustive.