

DES RESSOURCES RENOUVELABLES DANS LES CHANTIERS ROUTIERS. UNE ALTERNATIVE AU TOUT PÉTROLE

C. DENEUVILLERS, M. CHAPPAT

Directrice de Laboratoires, Campus Scientifique et technique COLAS
Directeur de la Recherche et du Développement. Colas S.A.

1. INTRODUCTION

La prise de conscience de la nécessité de revoir nos modes de vie dans l'avenir est aujourd'hui de plus en plus réelle. Le rapport de Madame Brundtland à la Commission Mondiale sur l'environnement et le développement (ONU) qui est à la base de cette notion de développement durable date de 1987 : il y a 20 ans. À l'époque déjà, la traduction entre le français et l'anglais faisait débat : le développement devait-il être durable (lasting, durable) ou soutenable (sustainable). La diplomatie a choisi. Comme nous le savons, sustainable development ; développement durable au double sens évident. Rappelons que c'est « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre ceux des générations futures ». Quand on nous dit que le pétrole, c'est fini dans 40 ans (même avec les techniques les plus sophistiquées), ou que la disponibilité en pétrole commencera à décroître dans 15 ou 20 ans, il est grand temps de se poser les questions dès aujourd'hui.

L'humanité passera en 20 ans de 6 à 8 milliards d'individus qu'il faudra nourrir correctement ; avec quoi et comment ?

Dans cet exposé, je voudrais montrer comment nos métiers peuvent contribuer positivement à une évolution inéluctable. Pouvons nous remplacer le pétrole, et le bitume, dans nos travaux, si ce n'est totalement, du moins partiellement dès maintenant ? Les sources auxquelles j'ai fait appel sont indiquées, les chiffres sont publiés mais ils doivent être relativisés aux ordres de grandeur puisque les disciplines abordées ne font pas l'objet de statistiques strictes au plan local ou au plan mondial.

2. LE PÉTROLE ET L'ÉNERGIE DANS LES TRAVAUX ROUTIERS

Nos métiers consomment du bitume : environ 90 MT par an réparties selon la carte ci-après (figure 1).

Le numéro un mondial de la route en consomme 3,5 MT, la France 3,3 MT.

Traduites en enrobés ou en revêtement superficiels, ces consommations s'établissent approximativement ainsi (tableau 1).

La consommation mondiale de bitume : environ 90 MT

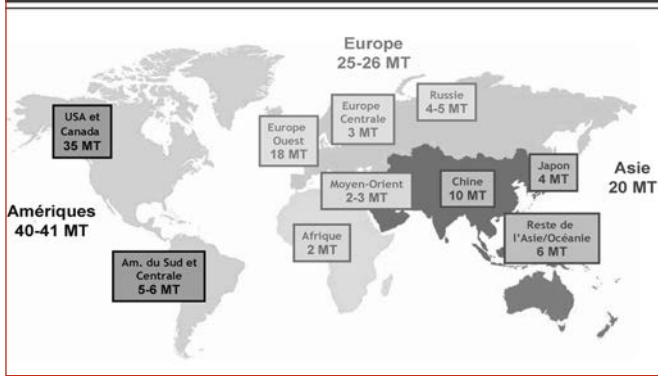


Figure 1

États-Unis *	500 MT	(30)
Canada *	40 MT	(2)
Europe des 27	320 MT	(18)
Reste du monde	640 MT	(35)
Total	1 500 MT	(85)
* Hors recyclage		

Tableau 1 : Enrobés bitumineux dans le monde.

Le tonnage mondial d'émulsions de bitume est estimé à 8 MT selon la répartition suivante (tableau 2).

Europe des 27	2,65 MT
US / Canada	2,75 MT
Brésil	0,40 MT
Mexique	0,65 MT
Autres Amérique du Sud	0,50 MT
Reste du monde	1,05 MT

Tableau 2 : Émulsions dans le monde.

Sur cette quantité, on estime les répartitions suivantes :

Revêtements superficiels	Enduits superficiels	2,4
	Enrobés coulés à froid	0,8
	Autres	3,6
Enrobés à froid		1,2

Tableau 3 : Applications des émulsions.

Sur ces quantités, on estime à 240 000 T la quantité de fluxants consommée.

Pour ce qui concerne les carburants des engins de chantiers et utilitaires, il n'est pas aisé d'avoir un recensement précis exact. Nous avons choisi de prendre en considération la consommation du Groupe Colas et de faire une extrapolation (certes hasardeuse) selon le poids de Colas dans notre monde professionnel.

Nous obtenons un chiffre mondial annuel de l'ordre de 6 000 M de litres de fuel léger.

Pour l'enrobage, une approche similaire aboutit à l'équivalent de 7 500 M de litres de fuel lourd. La mise en œuvre représente moins de 10 % de la fabrication (disons environ 6 %) soit 450 M de litres de fuel sur les 6 000 vu ci-dessus. Nous rappellerons que la production mondiale de pétrole oscille autour de 29 G bbls/jour soit 4 700 G l/an. Notre métier consomme donc à peu près 3 % de la production mondiale.

Devant ce résultat relatif, on peut se demander s'il y a matière à effort. Mais nous citerons les plus grands auteurs de l'antiquité : « Ce sont les petits ruisseaux qui font les grandes rivières ».

3. L'AGRICULTURE MONDIALE PERMET-ELLE DE NOUVELLES CULTURES ?

On remarque d'abord que, avant de chercher des substituts végétaux à nos carburants, l'humanité cherchera à se nourrir. Passant selon les estimations de 6 à 8 milliards d'individus hors d'Europe et d'Amérique du Nord dont les populations restent stables.

Nous ferons nos évaluations en considérant que dans un avenir « humain » de 30 à 50 ans, les surfaces du globe garderont le même partage entre terre et eau et que l'effet climat ne perturbera pas ce partage.

Les études de l'ONU (FAO) donnent une idée des surfaces disponibles pour de nouvelles cultures.

Zone en milliards d'hectares (G. Ha)	Terre	Forêts	Agricoles	Reste estimé
Monde	13,041	3,869	5,017	4,155
Pays dits développés	5,383	1,720	1,744	1,919
Pays dits en développement	7,658	2,149	3,273	2,236
Asie/Pacifique	2,014	0,512	1,029	0,473
Amérique du sud et Amérique centrale	2,018	0,964	0,784	0,270
Afrique – Proche Orient	1,263	0,029	0,455	0,779
Afrique subsaharienne	2,363	0,644	1,005	0,714
	7,658	2,149	3,273	2,236
Europe des 27	0,420	0,150	0,200	0,070
USA	0,916	0,226	0,411	0,279
Canada	0,922	0,245	0,075	0,602
Australie	0,768	0,155	0,455	0,158
russe	1,689	0,851	0,217	0,621
	4,715	1,627	1,358	1,730
Autres	0,668	0,093	0,386	0,189
Chine (inclus dans Asie)	0,929	0,163	0,554	0,212
Brésil (inclus dans Amérique du sud)	0,846	0,544	0,263	0,039

Tableau 4 : Répartition des surfaces terrestres (2003 / 2004).

Avant de poursuivre notre raisonnement, nous indiquerons quelques exemples d'utilisation des fertilisants et quelques résultats de rendements agricoles.

Blé	240 kg/Ha en France	25 kg/Ha en Russie
Maïs	257 kg/Ha aux États-Unis	12 kg/Ha en Tanzanie
Riz	320 kg/Ha en Corée du sud	4 kg/Ha au Cambodge
Coton	461 kg/Ha au Tadjikistan	41 kg/Ha au Bénin

Tableau 5 : Fertilisants.

Ces données montrent l'extrême disparité de l'utilisation des engrais dans le monde et la lente progression du rendement. Elles soulèvent les questions du futur : fait-il augmenter les rendements avec une consommation d'engrais (et donc d'énergie) ou laisser en l'état la question de l'alimentation des populations à venir.

Une conclusion est certaine : en mobilisant la recherche et les progrès de la technique, on peut rendre l'agriculture plus productive avec des fertilisants adaptés aux exigences du développement durable ou avec des espèces plus productives.

Quel était notre objectif : savoir si l'agriculture pourrait laisser assez de capacités pour nourrir les populations et se substituer au pétrole dans les 40 à 50 années à venir. Nous dirons que la situation n'est pas encore désespérée.

L'agriculture mondiale a-t-elle les capacités de faire face à ces multiples défis souvent contradictoires et controversés ? Gageons que oui.

Sur ces graphiques, on remarque que durant ces dernières années où la population mondiale a cru de 20 %, de 1 milliard d'individus, le rendement par habitant de l'agriculture s'est maintenu. Gageons qu'il en sera de même à l'avenir et que les Etats sauront trouver les solutions appropriées aux dossiers des OGM, des pesticides et des fertilisants en général (figures 2 et 3).

On remarquera aussi que des pays comme le Brésil n'hésitent pas à étendre la surface agricole au détriment de la forêt. Des pays comme la France connaissent une évolution inverse : réduction lente des surfaces agricoles cultivées (du fait des politiques agricoles européennes) au profit d'une progression lente de la forêt.

Là encore il y a matière à débat mais source possible de nouvelles capacités de productions agricoles.

Pour un pays comme la France, la répartition du territoire est ainsi faite (tableau 6).

	En M Ha
Forêts et haies	17,0
Cultures	16,6
Prairies et landes	15,2
Routes	1,1
Villes et terres bâties	1,6
Inaccessibles	1,8
Divers	1,5
Total	54,8

Tableau 6 : Situation en France.



Figure 2 : Céréales : Production/hab. selon le groupe de pays, 1961-2000.

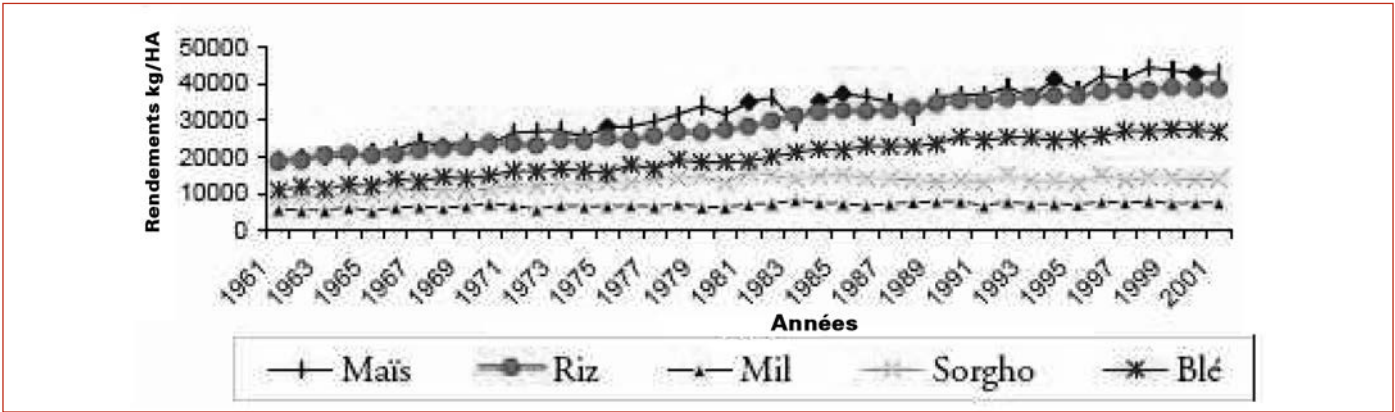


Figure 3 : Évolution des rendements des principales céréales par hectare.

Il reste peu de place mais il en reste quelques pourcents.

4. LES AGRORESSOURCES OU BIORESSOURCES

D'où peuvent venir les substituts du pétrole et de ses dérivés ?

On connaît maintenant très bien la manière de traiter certaines plantes sucrées ou certains oléagineux pour obtenir des carburants (figures 4 et 5).

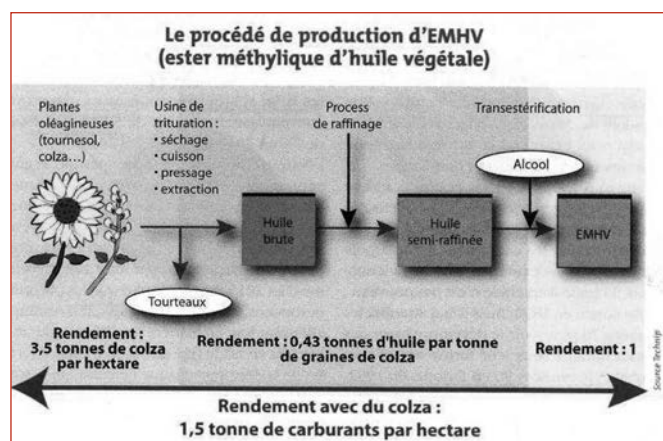


Figure 4 : La chaîne EMHV : un process en 3 étapes.

En Europe, les politiques de soutien existent avec des disparités assez sensibles.

Connaissant les rendements, on peut facilement évaluer les surfaces à planter pour faire fonctionner des usines de bio-éthanol ou de bio-diesel (tableau 7).

On arrive très vite à la conclusion que les pays dits développés ne pourront même avec les meilleurs rendements faire évoluer leur agriculture pour continuer à nourrir leurs populations et, en même temps, trouver la solution pour remplacer le pétrole.

Mais revenons à nos métiers :

Nous consommons chaque année : environ 6 000 M de litres de fuel pour faire fonctionner nos engins. Soit, sans

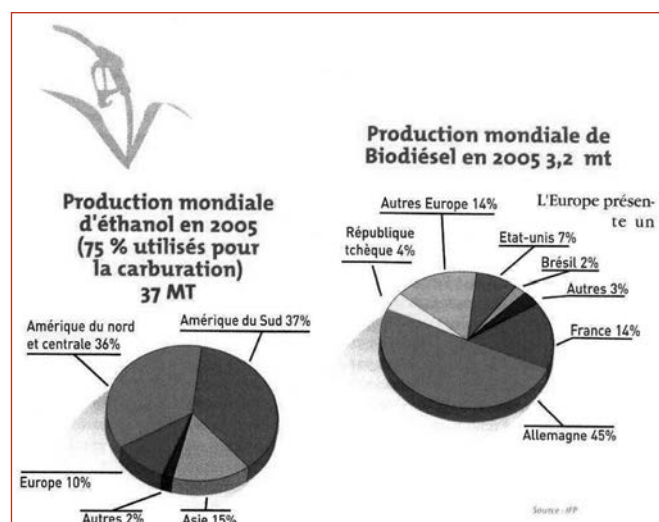


Figure 5 : Production biocarburants dans le monde.

modifier les moteurs en mélangeant 30 % d'agrocaburant : environ 2 000 M de litres soit 1 à 2 M d'hectares.

Pour substituer les fuels de nos postes de fabrications d'enrobés : 7,5 M de m³ de fuel utilisées soit moins de 7 MT d'agrocaburant.

Pour les fluxants, il est très facile d'interdire les fluxants pétroliers pour les remplacer par des fluxants d'origine agricole : il suffit d'environ 150 000 hectares de cultures d'oléagineux (pour 1,5 T par hectare de rendement).

Quant aux substituts de bitumes, à raison d'une tonne pour une tonne et une tonne et demie par hectare de rendement, il nous faut compter sur 60 M d'hectares. C'est tout de même plus difficile ; mais puisqu'on nous dit que les ressources en bitume sont bien plus élevées que les ressources en pétrole ...

5. UNE EXPÉRIENCE CONCLUANTE POUR LA ROUTE

Nous nous contenterons ici de relater l'expérience récente acquise chez Colas pour imaginer, tester et produire des produits de substitution aux carburants pétroliers, aux fluxants pétroliers et au bitume.

Filière	Culture initiale	Énergie brute produite par H/A (tonnes équivalent pétrole)	Énergie nécessaire pour les engrais, la culture et la distillation (tonnes équivalent pétrole par ha)	Énergie nette produite par Ha (tonnes équivalent pétrole)	Nombre minimum de km ² mobilisés pour produire 50 Mtep	En % du territoire français	En % des superficies cultivées 1997
Huile	Colza	1,37	0,50	0,87	574 000	104 %	365 %
Huile	Tournesol	1,06	0,29	0,77	648 000	118 %	413 %
Ethanol	Betterave	3,98	3,22	0,76	660 000	120 %	420 %
Ethanol	Blé	1,76	1,72	0,04	14 800 000 !	2 700 %	9 400 % !

Tableau 7 : Valeurs des paramètres de modélisation utilisés pour la construction des courbes $F = f(L)$ dans les six configurations.

Depuis quelques années les équipes de recherche et, maintenant, de développement se sont mobilisées pour mettre au point des fluxants d'origine végétale (agro ou bio fluxant). Ces travaux débouchent sur plusieurs voies de développement : un premier substitut du bitume (les recherches se poursuivent) ; un biofluxant ou agrofluxant végétal et des produits dérivés comme les bio ou agromarquages.

Nous relaterons ici l'expérience des bio ou agrofluxants et des bionettoyants d'enrobage.

5.1. Recherches sur les biofluxants

Un des objectifs fixés aux travaux entrepris par nos équipes de recherche pour la mise au point de ces produits de substitution était le souci poussé de répondre aux critères du développement durable :

- le renouvellement des ressources naturelles ;
- les économies d'énergie ;
- la réduction des gaz à effet de serre ;
- la sécurité des personnes et de l'environnement naturel.

Ces travaux s'inscrivent dans les principes de la chimie verte puisqu'il s'agit de réduire voire d'éliminer l'usage ou la formation de substances dangereuses dans la conception, la production et l'utilisation des produits chimiques, de diminuer les déchets et l'énergie consommée tout en améliorant les performances des produits finis.

Les applications concernées par ces travaux sont dans un premier temps :

- les biofluxants, destinés à réduire la viscosité des bitumes dans les applications routières ;
- les bionettoyants destinée à protéger les équipements de la salissure ou à les nettoyer une fois souillés.

Dans un second temps, ce projet global pourra (vu les résultats très positifs en laboratoire) être étendu à la conception de bio-émulsifiants et de bio-marquages de sécurité pour la route dans les mêmes installations.

Il est bon de noter que les installations de fabrication de ces bioproduits pour la route peuvent aussi servir à la fabrication de bio-diesel pour utilisation interne dans nos engins de chantier (sous réserve des autorisations requises des autorités). Il faut compter un investissement de 300 à 400 euros par tonne de capacité de production pour une usine moyenne.

Les biofluxants sont destinés à remplacer l'emploi de fluxants volatils pétroliers ou carbochimiques. L'utilisation de ces derniers conduit à l'évaporation dans l'atmosphère de composés potentiellement gênants pour la santé des personnes et pour l'environnement et représente une énergie fossile gaspillée.

Les biofluxants pour bitume ont été obtenus en travaillant à base de dérivés de matières grasses naturelles renouvelables : dérivés d'huiles végétales ou d'acides gras de type tall oil.

Les bionettoyants pour les engins de chantiers (finisseurs, machines application d'enrobés coulés à froid), les camions, les ateliers sont destinés à remplacer des solvants pétroliers utilisés couramment par les équipes applicatrices et les ateliers (solvants de types fuel) pour nettoyer leur

matériels et équipements routiers. L'objectif de ce volet des travaux est de proposer deux types de produits, en remplacement du fuel qui lui s'évapore dans l'atmosphère une fois son utilisation terminée : **bioproduit qui présente une action préventive** (appliqué en protection sur les engins pour éviter qu'ils se salissent) et un **bioproduit de type curatif** (qui va nettoyer les équipements salis).

Dans les deux cas, des **matières premières d'origine naturelle végétale ont été employées pour synthétiser et/ou formuler les bionettoyants** présentant les caractéristiques voulues.

Aspect environnemental : une évaluation partielle du cycle de vie des biofluxants en comparaison de fluxants fossile a été réalisée sur les critères énergie et gaz à effet de serre. Ces impacts sont jugés les plus pertinents :

- l'énergie non renouvelable consommée par le bitume fluxé à base de biofluxant est inférieure d'environ 40 % à celle du bitume fluxé fossile ;

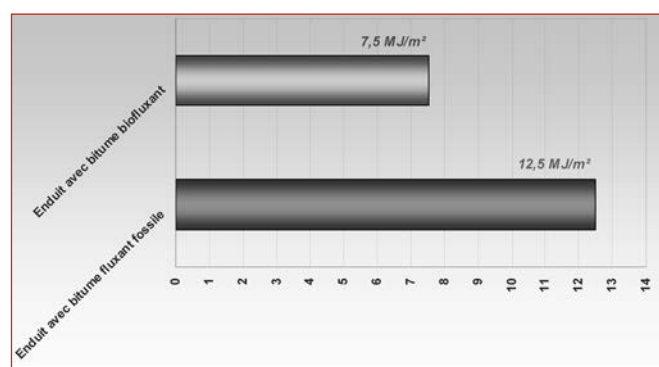


Figure 6 : Consommation d'énergie non renouvelable par m² d'enduit bi-couche.

- le dégagement de gaz à effet de serre (en équivalent CO₂) est d'environ 12 % moindre avec les biofluxants.

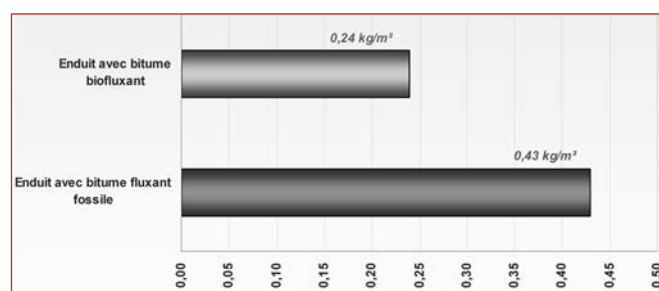


Figure 7 : Émission de GES par m² d'enduit bi-couche.

L'utilisation de ces bioproduits est une réponse aux problèmes posés par les utilisateurs. Le succès et la rapidité de conduite de ces travaux sont le résultat de leur motivation.

En complément de l'évaluation partielle décrite ci-dessus, les enseignements techniques ont montré :

- un gain matière et donc une économie de ressource fossile supplémentaire de l'ordre de 5-10 % de bitume ;
- un gain de température d'épandage des liants de l'ordre de 20°C et donc de l'énergie correspondante ;
- une économie de l'ordre de 30% de fluxant dans les mélanges.

La fabrication des produits a été testée en laboratoire puis dans une unité de fabrication pilote construite pour

la circonstance. Les fabrications pilotes ont été mises à l'épreuve sur le terrain. Les résultats sont excellents.

Mise au point en laboratoire



Photo 1 : Exemple de synthèse d'ester éthylique de soja.

Sélection des meilleurs produits pour tests en grandeur réelle

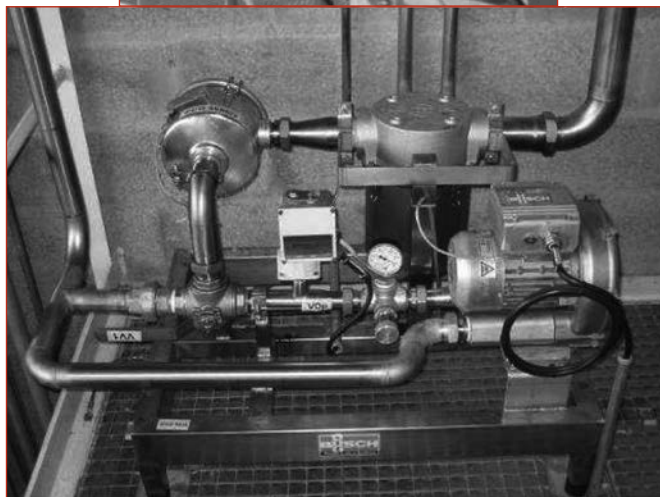
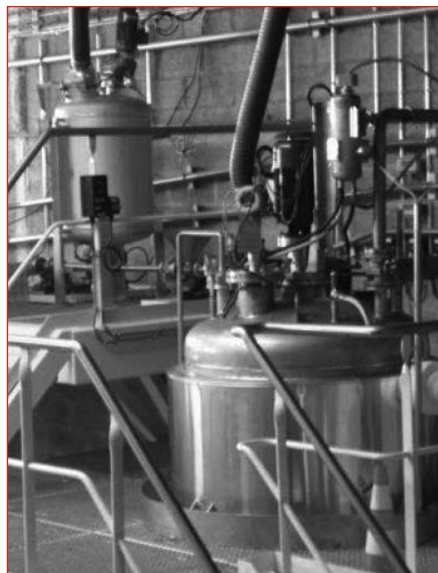


Photos 2-3 : Enduit superficiel appliqué dans le Gers en octobre 2005.



Photo 4 : Enduit superficiel appliqué dans l'Indre en juin 2006.

Conception et construction d'une installation pilote



Photos 5-6 : Installation pilote.

5.2. Premiers bilans sur les biofluxants

Les **bioproduits** issus de ces synthèses de laboratoire ont fait l'objet d'évaluations dans les formulations de produits routiers, en remplacement de fluxants d'origine fossile

habituellement utilisés pour les **biofluxants**. Pour les **bio-nettoyants**, leurs propriétés ont été comparées aux solvants pétroliers utilisés et testés par nos équipes d'application sur le terrain.

Les principales caractéristiques mesurées sont :

- **pas de dégagement de COV**, voire un gain matière du à la réaction des produits avec l'oxygène de l'air (jusque +1 %) ;
- **pour ce qui est des propriétés d'usage, vitesse de montée en cohésion des liants équivalente voire plus rapide** que ceux obtenus à partir de liants fossiles,
- **réduction de 30 % de la consommation de produits biofluxants** par rapport aux fluxants pétroliers pour le même usage, grâce à un pouvoir solvant meilleur.

Pour les **bionettoyants**, les formulations mises au point montrent des propriétés de nettoyage équivalentes à celle des nettoyeurs pétrochimiques traditionnels dans les métiers de la route.

Des travaux complémentaires sont déjà en cours pour substituer des produits d'origine végétale aux ressources fossiles dans :

- les formulations de **produits de marquage routiers (bio marquage)** employant des résines et des solvants pétroliers ;
- les **revêtements de types haute adhérence (bio revêtements)** employant aujourd'hui des résines ;
- la mise au point de **tensioactifs naturels (bio tensioactifs)**.

La plupart de ces produits pourront être fabriqués par l'usine industrielle sans modification. Certains coproduits seront réutilisés dans ces fabrications.

5.3. Un liant innovant d'origine végétale pour enrobés

Le liant est obtenu en mélangeant plusieurs composants issus de la transformation de matières premières végétales. L'invention est protégée par un brevet français et européen. Il est fabriqué en contrôlant strictement la proportion de ses composants, la température et le temps de mélange, ce qui garantit aux enrobés confectionnés avec ce liant végétal la cohésion et les performances mécaniques nécessaires aux matériaux utilisés en technique routière.

Classe	1	2	3
Viscosité initiale (Pa.s) Appareil Brookfield, (SC 4-27), 70 °C, 1.4 s ⁻¹	33 à 45	16 à 24	11 à 14
Température de pompabilité (°C)	100	100	100
Densité à 25°C	0,95 à 1,05	0,95 à 1,05	0,95 à 1,05
Point d'Éclair Cleveland (°C)	> 210	> 210	> 210
Module G*(MPa) à 20°C ; 7,8 Hz	> 2,5	> 0,8	> 0,2

Tableau 8 : Classes actuelles et principales caractéristiques rhéologiques avant enrobage.



Photo 7 : Enrobé au liant végétal de couleur naturelle des granulats.



Photos 8 et 9 : Chargement d'un camion à la centrale de fabrication mise en œuvre des enrobés correspondants sur une route départementale très circulée.

Ces liants peuvent être mis en émulsion. En fonction de la formulation retenue pour l'émulsion, la réalisation de divers revêtements est alors possible : enduits superficiels, enrobés coulés à froid, enrobés à froid élaborés en centrale de malaxage.

Nous présentons les applications suffisamment développées : les enrobés à chaud à base de liant végétal.

Ces recherches ont abouti à la formulation de liants végétaux dont les propriétés d'usages sont adaptées à la réalisation d'enrobés pour couche de surface ou couche de base.

Quelques propriétés intéressantes du liant végétal

La composition du liant végétal peut être choisie pour conférer à ce liant un caractère transparent en couche mince, afin de confectionner des enrobés de couleur naturelle des granulats ou colorés au choix.

Comme il a été dit précédemment, le processus d'enrobage à chaud est identique à celui des enrobés bitumineux. **Il est réalisé avec des granulats secs et chauds à une température qui peut être réduite de 40 à 50°C sans perte de maniabilité. De ce fait, la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre sont diminuées.**

Exemples de chantiers et performances in situ des enrobés au liant végétal

La photo 10 montre la réalisation d'enrobés blancs, réalisés en 2002 dans l'Ouest de la France (0/6 dosé à 5,7 % ; granulats Bégard ; enrobage en poste discontinu). Ce chantier a été délicat vu la couleur de l'enrobé.



Photo 10 : Mise en œuvre des tous premiers enrobés au liant végétal (couleur blanche).

Principales caractéristiques de surface des enrobés

Évaluée par mesure de la hauteur au sable vraie HSv, la macro texture du revêtement est correcte avec une moyenne de HSv de 0,71 mm.

Mesuré à 60 Km/H avec l'appareil SCRIM du CETE de Lyon, le coefficient de frottement transversal CFT est de 0,69 en moyenne après 4 mois.

Évalués par la remorque ADHÉRA du CETE Nord Picardie, après 6 et 30 mois, les coefficients de frottement longitudinal CFL [3], sont regroupés dans le tableau 4.

Age	6 mois	30 mois
CFL 40 Km/H	0,65	0,61
CFL 60Km/H	0,53	0,45

Tableau 9 : CFL à différentes vitesses en fonction de l'âge.

L'ensemble de ces mesures caractérise une adhérence très satisfaisante similaire à celle trouvée sur des revêtements de même type réalisés avec des bitumes élastomères SBS.

- Le Département du Haut-Rhin a décidé de renouveler en 2003 la couche de roulement d'ancienne chaussée supportant un trafic T3, avec un profil sinueux et en légère pente. Située dans le Jura alsacien, elle subit chaque année des cycles de gel dégel importants. Les enrobés (0/6 ; granulats du Rhin ; dosés à 5,7 %) ont été fabriqués dans une centrale discontinue à une température de fabrication de 110-120°C pour une durée de transport en camions bâchés de l'ordre d'une heure. La mise en œuvre est traditionnelle. Une pluie fine s'est pro-



Photo 11 : Octobre 2003, mise en œuvre des enrobés 0/6 à Ligsdorf.



Photo 12 : Aspect de la chaussée après 30 mois.

duite lors de l'application, mais ne l'a pas perturbé. La forte maniabilité des enrobés a été à nouveau observée, même à une température de l'ordre de 80 à 90°C.

- Réalisations 2004 à 2008



Photo 13: RD 419 (Haut-Rhin) après 20 mois de circulation.



Photo 14: Bormes les Mimosas et Palais du Luxembourg à Paris.

6. CONCLUSION

Dans ce court et approximatif tour d'horizon, nous avons pu montrer que les réserves de terres agricoles cultivables se trouvent plus dans les pays en développement que dans les pays développés.

Nous avons pu montrer aussi que, si nous prenons des dispositions rapidement, nous pourrions trouver une part de ressources nouvelles pour faire fonctionner nos engins de chantiers et de production.

Nous pourrions aussi trouver là des ressources de substitution partielle au bitume pour les revêtements superficiels voire une partie des enrobés.

Bien entendu, il faudra des études plus approfondies pour estimer l'empreinte environnementale réelle d'un tel changement.

7. BIBLIOGRAPHIE

Ballié M., « Rugosoft, une nouvelle conception de bétons bitumineux peu bruyants à adhérence élevée », *RGRA* n° 829, juin 2004.

Bourgeois L., « Le Brésil sera-t-il la ferme du monde ? », *APCA*, mars 2005.

Chappat M., Bilal J., *La route écologique du futur*, Colas, 2003.

Deneuvillers C., « Les émulsions dans le monde, IBEF » – *ISSA Congress*, 2006-2007.

Deneuvillers C., Thouret D., Clarac A., « Des bioproduits sur nos routes », *RGRA* n° 845, décembre 2006.

Deneuvillers C., « Bioproducts on roads », *ISSA* 2008.

EAPA. *Données*, 2005.

F.A.O., *Situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture*, 2003-2004.

Griffon M., *Journal Le Monde*, 2 avril 2007

IFEN. Institut français de l'environnement.

Jancovici JM., *Que pouvons nous faire des biocarburants ?*, décembre 2004.

Le Brun S., *Pétrole et Gaz*, mars 2007.

Marmier F., « Sur la Route du Futur, route, véhicule et conducteur dialoguent », *RGRA* n° 805, avril 2002.

www.techno-science.net