

BILAN DU COLLOQUE DU 28 mai 2010

« VALORISATION DES SOUS PRODUITS DANS LES BETONS ET LES STRUCTURES DU GENIE CIVIL »

Organisé par Elhem GHORBEL



Amphi Navier – Site de Neuville - Université de Cergy-Pontoise
5 mail Gay-Lussac, site de Neuville 95 031 Cergy Pontoise Cedex
Web : <http://www.u-cergy.fr> tél. : 01 34 25 68 60

Fiche de renseignements manifestation

Date de la manifestation	28 mai 2010
Lieu	Site de Neuville 1 – Amphi Navier
Horaires	10H – 17H
Intervenants	(voir Programme)
Type de public attendu	Chercheurs du public et du privé, professionnels du Bâtiment, des Travaux Publics, d'Environnement : Ingénieurs, Architectes, Acteurs des structures régionales, intercommunales, ...
Nom organisateur	Elhem GHORBEL
Mail organisateur	elhem.ghorbel@u-cergy.fr
Tél organisateur	01 34 25 68 86
Site Internet de la manifestation	www.u-cergy.fr/l2mgc
Laboratoire + établissement de l'organisateur	L2MGC - Université de Cergy-Pontoise

VALORISATION DES SOUS-PRODUITS DANS LES BETONS ET LES STRUCTURES DU GENIE CIVIL

CONTEXTE & OBJECTIFS : Dans le cadre des activités du L2MGC nous organisons à l'Université de Cergy-Pontoise une manifestation scientifique dont l'objectif principal est de réunir les différents acteurs qui s'intéressent à la valorisation des sous produits dans les bétons et les structures du BTP. Les sous produits (bois, plastiques, pneus usagés, verre, granulats issus de la démolition, laitiers, ...) proviennent des déchets des diverses secteurs d'activités professionnelles. Leur valorisation dans les bétons et les structures du BTP offre une voie de la gestion des déchets industriels et urbains différente de celles conventionnelles (énergétique par incinération, ...) et une réponse au déficit entre production et consommation de certains matériaux naturels.

Cette manifestation visait à confronter l'état de l'art sur les développements technologiques et sur les recherches en cours dans le domaine de la valorisation des sous produits en réunissant: chercheurs, professionnels et acteurs des collectivités et organismes dédiés.

DEROULEMENT : Le colloque se déroulera le 28 mai 2010 de 10H à 17H dans l'amphithéâtre Navier du site de Neuville. Il sera ouvert au plus grand nombre de public. Une douzaine de présentations orales sont prévues, chacune d'une durée 30mn. Des chercheurs de différentes équipes de recherches de l'UCP et d'autres laboratoires de recherche français publics et privés seront invités. Des professionnels du milieu du bâtiment et des travaux publics, de l'environnement et des représentants d'organismes apporteront leur expérience et enrichiront les échanges.

Programme de la manifestation

9 heures 30mn à 10 heures	ACCUEIL
10 heures à 10 heures 15 mn	Allocution de bienvenue par Hung T. DIEP, Vice-Président du Conseil Scientifique, Université de Cergy-Pontoise, Albert NOUMOWE, Directeur du L2MGC et Elhem GHORBEL, organisatrice du colloque (L2MGC-UCP)
10 heures 15mn à 10 heures 45 mn	« Evaluation environnementale du recyclage des déchets », Laurent CHATEAU, Direction Consommation Durable et Déchets- ADEME
10heures 55 mn à 11 heures 20 mn	« Valorisation de la poudrette de caoutchoucs usés dans les enrobés bitumineux », Elhem GHORBEL, L2MGC- Université de Cergy Pontoise et Khedidja AITMOKHTAR USTHB-Algérie
11 heures 20 mn à 11 heures 50mn:	« Le stockage en milieu géologique profond : modifications induites à la microstructure des roches », Beatriz MENENDEZ, GEC - Université de Cergy Pontoise
11 heures 50mn à 13 heures 10 mn :	BUFFET
13 heures 25 mn à 13 heures 55 mn	« Les agromatériaux en substitution des plastiques pétrochimiques » Cédric DEVER - Directeur Recherche Unité Agromatériaux - VALAGRO
13 heures 55mn à 14 heures 25 mn	« Valorisation des microfibrilles issues du recyclage du carton dans les BAP : quels apports ? », Mohamed MOHAMED (L2MGC-UCP) George WARDEH (L2MGC-UCP), Elhem GHORBEL (L2MGC-UCP) et Pascal GONNON (OMYA)
14 heures 25 mn à 14 heures 55mn	« Granulats recyclés et artificiels : définitions, caractéristiques normalisées et utilisations» Raphaël BODET, Chef du Service Affaires Techniques de l'UNPG/UNICEM
14 heures 55mn à 15 heures 10mn	PAUSE CAFE
15 heures 10 mn à 15 heures 40 mn	« Porosage de terres cuites à l'aide d'agro-matériaux: conséquences sur leurs propriétés » Bernard PERRIN- LMDC INSA de Toulouse/ UPS/Département de Génie Civil
15 heures 40 mn à 16 heures 10mn	« Etude de l' utilisation des granulats de démolition dans le béton » Alexandre PAVOINE, Division Physico-chimie des Matériaux, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
16 heures 10mn à 16 heures 40 mn	« Modélisation multi-échelles du comportement thermique du béton de chanvre » S. MOM (UPMC), A. BEN HAMIDA (UPMC), S. DARTOIS (UPMC), H. DUMONTET (UPMC), H. BOUSSA (CSTB)
16heures 40mn à 17 heures	« Caractérisation des bétons de granulats légers pour une application en thermique des bétons », Le Hung NGUYEN, Anne- Lise BEAUCOUR, Sophie ORTOLA, Albert NOUMOWE
17 heures à 17 heures 30mn	CLÔTURE : Patrick ROUGEOT - CERIB

PRESENTATIONS

Laurent CHATEAU , Direction Consommation Durable et Déchets- ADEME« Evaluation environnementale du recyclage des déchets	p. 5
Elhem GHORBEL , L2MGC/UCP, « « Valorisation de la poudrette de caoutchoucs usés dans les enrobés bitumineux »	p. 21
Beatriz BENENDEZ , GEC/UCP, « Le stockage en milieu géologique profond : modifications induites à la microstructure des roches »,	p. 58
Cédric DEVER , Direction Recherche Unité Agromatériaux, VALAGRO « Les agromatériaux en substitution des plastiques pétrochimiques »	p. 93
George WARDEH , L2MGC/UCP, « Valorisation des microfibrilles issues du recyclage du carton dans les BAP : quels apports ? »	p. 120
Raphaël BODET , Service Affaires Techniques de l'UNPG/UNICEM, « Granulats recyclés et artificiels : définitions, caractéristiques normalisées et utilisations»	p. 141
Bernard PERRIN , LMDC INSA de Toulouse/ UPS/Département de Génie Civil, « Porosage de terres cuites à l'aide d'agro-matériaux: conséquences sur leurs propriétés »	p. 191
Alexandre PAVOINE , Division Physico-chimie des Matériaux, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, « Etude de l'utilisation des granulats de démolition dans le béton »	p. 213
Sophie DATOIS , UPMC, « Modélisation multi-échelles du comportement thermique du béton de chanvre »	p. 240
Albert NOUMOWE , L2MGC/UCP, « « Caractérisation des bétons de granulats légers pour une application en thermique des bétons »,	p. 259
Patrick ROUGEOT , Mot de clôture	p. 274



Recyclage des déchets & évaluation environnementale

Laurent CHATEAU
ADEME
Direction Consommation Durable et Déchets
Service Prévention et Gestion des Déchets

laurent.chateau@ademe.fr



Plan





Introduction

▪ Valorisation/recyclage déchets

- Remise de matières dans le cycle économique
- Cadre communautaire
 - **Protection de l'environnement** (directive 75/442/CEE, directive 2008/98/CE)
 - **Préservation des ressources naturelles** (stratégie thématique 2005)



Les enjeux

- Des avantages environnementaux a priori
 - **Substitution de ressources naturelles non renouvelables**
 - > 400 Mt de granulats et 150 Mt d'excédents utilisés
 - > 150 Mt déchets éliminés
 - **Économies d'énergie**
Enrobés basses températures
 - **Réduction des émissions de gaz à effet de serre**
Recyclage in situ vs. apports de matériaux externes
 - **Diminution des quantités mises en décharge**
 - **Réduction de la pression foncière**
 - reconquête de friches urbaines



Un préalable

- **Justifier une fonction utile**
 - Respect des caractéristiques nécessaires à l'usage (propriétés des produits manufacturés - garantie)
 - Positionnement comparatif :
 - Normes, PTM
 - Matériaux de référence ayant la même fonction
 - Nouvelles applications
 - Extension du domaine d'emploi de certains produits



Un intérêt environnemental à démontrer

- **Lister les avantages environnementaux *a priori* est insuffisant !**
- **Évaluation environnementale nécessaire**

**Quasi absence d'évaluation dans les études
et publications scientifiques**
(bétons ou autres applications)



Comment faire ?

▪ Évaluation quantitative

– Impact global

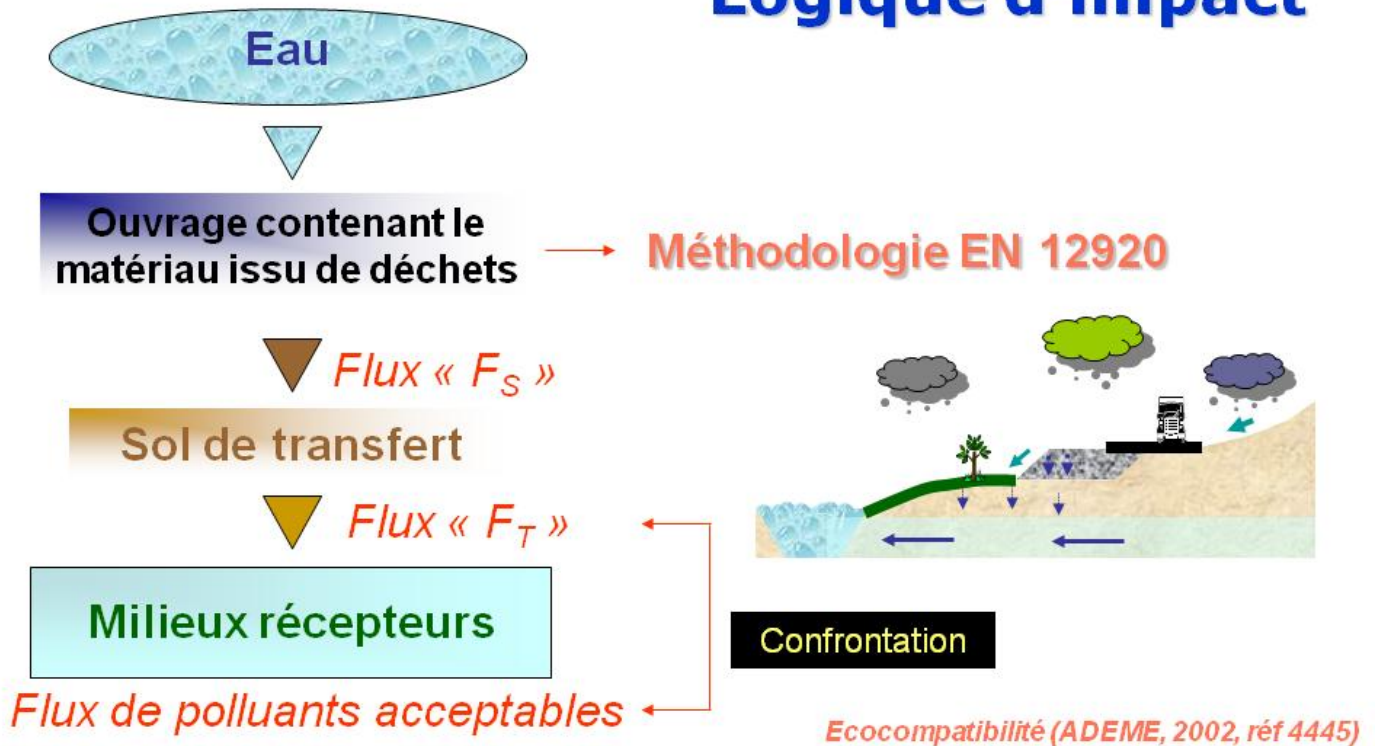
- Méthode ACV (norme ISO 14040)
- Outils type éco-comparateur (multi- indicateurs) ou Bilan Carbone (mono-indicateur)

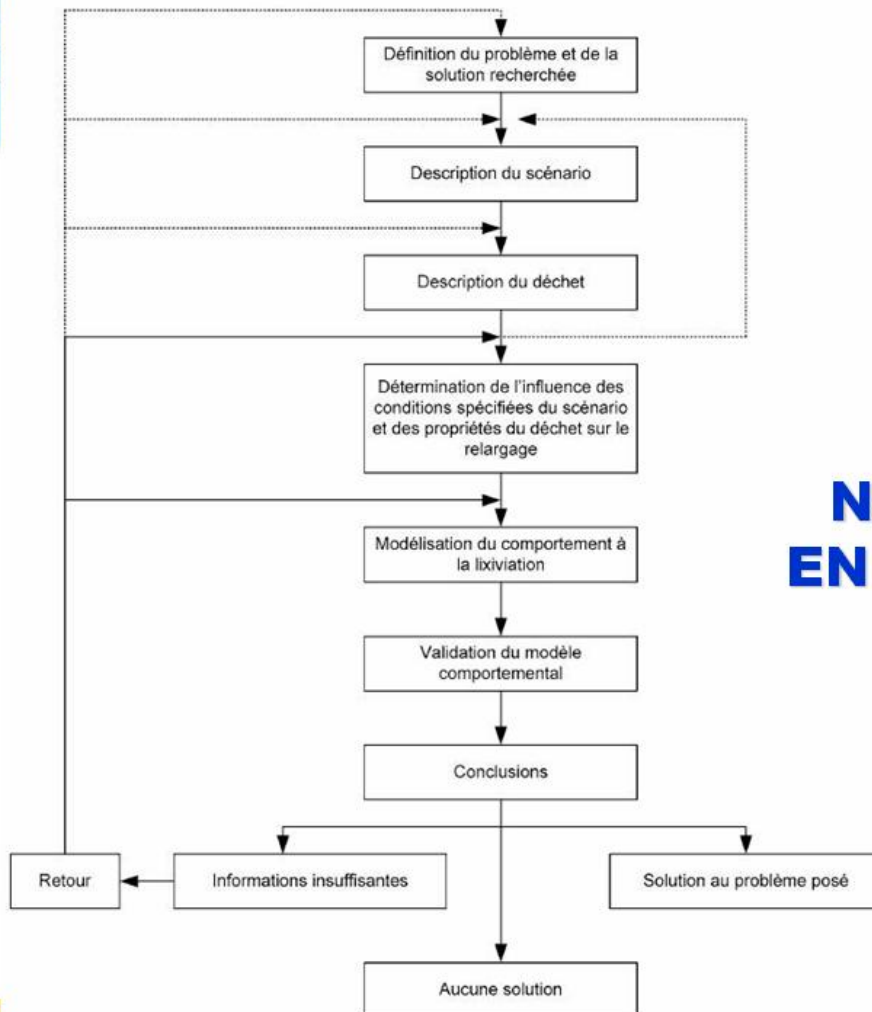
– Impact local

- Quel **matériau/déchet** ? Minéral, organique, réactif ou non
- Quel **utilisation** ? TP, B, combustible, agriculture
- Quelle **cible** ? Eau, sol, écosystème, Homme
- Quelle **méthode** ?



Logique d'impact





Norme EN 12920



Norme EN 12920 - Exemples d'application

▪ Publications scientifiques

- François D., Jullien A., Kerzreho J.P., Chateau L. (2009) **Full-scale experimentations on alternative materials in roads: Analysis of study practices**. *Waste Management*, Vol 29, Issue 3, March 2009, pp1076-1083
- Guyonnet D., Bodéan F., Brons-Laot G., Burnol A., Chateau L., Crest M., Méhu J., Moszkowicz P., Piantone P. (2008) **Multiple-scale dynamic leaching of a municipal solid waste incineration ash**. *Waste Management*, Vol 28, Issue 10, 2008, pp1963-1976

▪ Bilans

- G. Brons-Laot, M.-C. Giraud, N. Schiopu, M. Crest, J. Mehu, (2004) **Bilan de l'application de la norme EN12920**, Rapport final, EEDEMS (convention ADEME 0372C0109).



Acceptabilité de matériaux alternatifs en techniques routières

▪ Origine

- **Fournir un cadre homogène** à l'utilisation des matériaux alternatifs issus du recyclage de déchets (BTP, industriels)
- **Rassurer** maîtres d'ouvrage et prescripteurs

▪ Principes d'élaboration

- **Utiliser le retour d'expérience** scientifique, méthodologique et les avancées normatives (essais de caractérisation)
- **Reproduire approche** de fixation de **valeurs limites** d'acceptation des déchets en décharge (décision 2003/33/CE)

▪ 2 niveaux d'évaluation

- **Guide méthodologique**
- **Déclinaison opérationnelle** par famille de matériaux



Structure basée sur le processus d'élaboration de matériaux





Matériaux issus de déchets vs. produits

Matériaux issus de déchets

- **Réglementation déchets**
- **Usage TP : guide « acceptabilité »**
- **Autres usages : norme EN 12920**

Produits

- **Directive 1989/106/CEE**
- **TC351 « émissions substances dangereuses réglementées »**
- **REACH**



Actions ADEME

Orientation de R&D concernant les déchets du BTP et la valorisation de déchets dans le secteur de la construction

▪ Axes principaux

- Identification fiable et rapide des matériaux et indésirables
- Techniques et de technologies de tri et de recyclage
- Eco-conception de produits et d'ouvrage moins générateurs de déchets (phase production et fin de vie)
- Étude des impacts environnementaux et éco des pratiques de prévention / recyclage vs. scénarios non circulaires

▪ Méthodes

- Appels projets recherches et AMI
- AP thèses
- Conventions



Exemples de questions qui restent posées

▪ Applications « bétons »

- Bétons bitumineux « basses températures »
 - Adjuvants (comportement long terme, risques env et sanitaires)
- Bétons recyclés dans bétons
- Bétons allégés, fibrés
 - Connaissance des usages et domaines d'emploi
 - Fin de vie :
 - recyclabilité des produits incorporant de MPS (granulats pneus, bois, fibres, etc.)
 - Devenir des MPS dans procédés de recyclage actuel ?
 - Risques env et sanitaires ? (dissémination)

▪ Fin de vie de certains produits en fin de vie du bâtiment

- Isolants minéraux, agro-sourcés
- Bois faiblement adjuvés



Conclusions

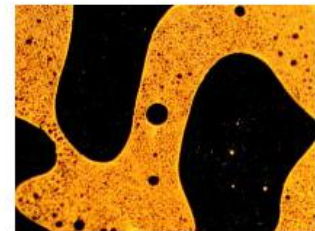
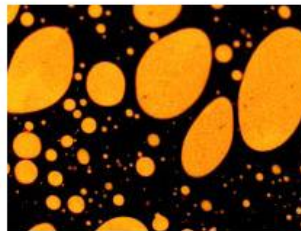
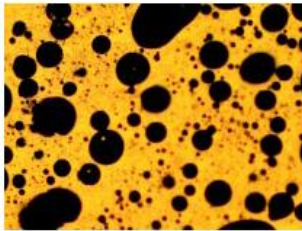
- **Importance de l'évaluation environnementale**
 - Quantification des impacts
 - Justification de l'intérêt d'une solution de valorisation
 - Aide à la décision

- **Attentes importantes**
 - Besoin de rigueur et non de *greenwashing*

- **Discipline récente et pas suffisamment appliquée**
 - Maturité progresse
 - Relativiser le niveau d'exigence des méthodes par comparaison au domaine mécanique

La valorisation des déchets dans les enrobés bitumineux

Introduction des caoutchoucs usés



E. Ghorbel, K.Aitmokhtar, S. Saoula et S.Haddadi

Publications:

- 1- HADDADI Smail, [GHORBEL Elhem](#), LARADI Nadir « Effects of the manufacturing process on the performances of the bituminous binders modified with EVA » *Construction & Building Materials*, **Volume 22, Issue 6**, Pages 1212-1219, June 2008.
- 2- S. Saoula, K. Ait Mokhtar, H. Haddadi and [E. Ghorbel](#), "Improvement of The Stability of a Modified bituminous binders within EVA" *International Journal of Applied Engineering Research*, Volume 3, Number 4, pp. 575-584, 2008
- 3- HADDADI Smail, [GHORBEL Elhem](#), LARADI Nadir « Fluage des bétons bitumineux : Influence de la classe du bitume et du dosage en poudrette de caoutchouc » *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, Volume 12 - n° 3, 2008.
- 4- S. Saoula, K. Ait Mokhtar, S. Haddadi and [E. Ghorbel](#) "Improvement of the performances of modified bituminous concrete with EVA and EVA-waste" *Physics Procedia* **Volume 2, Issue 3**, November 2009, Pages 1319-1326.

PROBLEMATIQUE : les déchets de caoutchoucs

2

- Urbanisation outrancière et non contrôlée des zones littorales
- Processus d'industrialisation mal maîtrisé

POLLUTIONS INDUSTRIELLES ET URBAINES CROISSANTES À L'ORIGINE DE SÉRIEUX PROBLÈMES.



PROBLEMATIQUE : les déchets de caoutchoucs

Quelques chiffres

L'Algérie produit :

- 5 millions de tonnes de déchets ménagers par an.
- Plus de 300.000 tonnes de déchets spéciaux par an.
- 2.000.000 de tonnes de déchets industriels par an (les hydrocarbures représentent 34% des déchets industriels stockés, le secteur des mines représente quant à lui 13%).
- D'après les statistiques du gouvernement, les chiffres des sachets en plastique utilisés sont effarants. Près de 15 millions de sachets plastiques sont utilisés par jour, équivalents à plus de 5 milliards de sachets plastiques utilisés par an dont la quasi-totalité, se retrouve dans la nature.
- Il existe en Algérie : 2000 décharges non contrôlées.



PROBLEMATIQUE : les déchets de caoutchoucs

CONSTATS

- ⊗ Une économie algérienne en pleine croissance confrontée aux questions de protection de l'environnement et de développement durable dont l'une des réponses est le recyclage et la valorisation des déchets plastiques.
- ⊗ Les activités de recyclage/valorisation peu développées malgré que le potentiel de matières recyclables soit important (environ 760 000 T/an).
- ⊗ Absence totale du secteur privé dans la gestion des déchets
- ⊗ Présence d'activités informelles de récupération anarchique de déchets au niveau des décharges publiques pour alimenter un marché parallèle mais qui restent limitée au vue de l'énorme gisement existant.

PROBLEMATIQUE : les déchets de caoutchoucs

5

SOLUTIONS POTENTIELLES

L'Algérie pourrait économiser plus de 300 millions d'euros par an en misant sur le développement du recyclage & la VALORISATION DES DECHETS

Parmi les secteurs potentiels pour la valorisation des déchets industriels:

LES TRAVAUX PUBLICS



Incorporation de caoutchoucs (NBR: acrylonitrile butadiène) issus des semelles de chaussures et des tapis de voitures dans les enrobés bitumineux

PROBLEMATIQUE : les déchets de caoutchoucs

En FRANCE

Origines des déchets en caoutchoucs:

- Déchets de production issus des processus de transformation des caoutchoucs (chutes, rebus, mélanges non ou mal vulcanisés, ...)
 - fabrication des pneumatiques (15 000 t / an en France)
 - déchets de caoutchouc industriel: fabrication de chaussures, tuyaux, revêtements de sols, ... (35 000 t / an en France)
 - déchets de rechapage des pneumatiques : poudrette, copeaux (8 000 t / an en France)
- Produits de fin de vie : pneumatiques usagés (370 000 t / an en France)



PROBLEMATIQUE : les déchets de caoutchoucs

Quelques chiffres

En 2008,

- près de 10 millions de tonnes de caoutchouc ont été produits dans le monde dont 70% moulée façon Bibendum.
- 1,1 milliards de pneus de voitures et 146 millions de pneus de poids lourds ont été produits dans le monde
- 80 000 tonnes de pneus disséminés sur 70 sites / décharges sauvages

Plus de la moitié des déchets de caoutchouc (400 000 t / an en France) aboutissent en décharges, et le brûlage à l'air libre est une pratique non négligeable, bien qu'interdite

Développement:

- ✓ Politique de suppression des décharges à ciel ouvert plus ou moins bien coordonnée
- ✓ Enfouissement moins visible mais tout aussi dangereux à terme,
- ✓ Industrie de l'incinération: les usines d'incinération prolifèrent partout mais émission de CO₂ ...



PROBLEMATIQUE : les déchets de caoutchoucs

Pourtant des solutions viables existent ...

VALORISATION MECANIQUE

- **le ré-emploi ou rechapage** qui consiste à remplacer la bande de roulement usagée du pneu, afin qu'il retrouve sa qualité d'origine filière est très utilisée pour les poids lourds
- **la valorisation " matière première " ou granulation** qui permet de fabriquer du granulat ou de la poudrette de caoutchouc utilisés dans la fabrication de pièces (roulettes, ...), de revêtement de sols sportifs et routiers, de produits d'étanchéité et d'isolation phonique... ;

Cette technique est handicapée par l'étroitesse du marché actuel

- **la réutilisation** de pneus entiers ou déchiquetés pour la fabrication de divers produits en caoutchouc : en technique routière (pour les renforcements de terrains, la réalisation de remblais allégés -procédés type PNEUSOL), pour la réalisation de bassins de rétention, dans la lutte contre les vibrations, contre le bruit, supports de bâche d'ensilage,

VALORISATION ENERGETIQUE

l'utilisation comme combustibles de substitution, notamment dans les fours de cimenterie, compte tenu du haut pouvoir calorifique du caoutchouc (3 tonnes de pneus = 2 tonnes de fuel): limitée en France

Problématique : l'enrobé bitumineux

9

Sollicitations climatiques

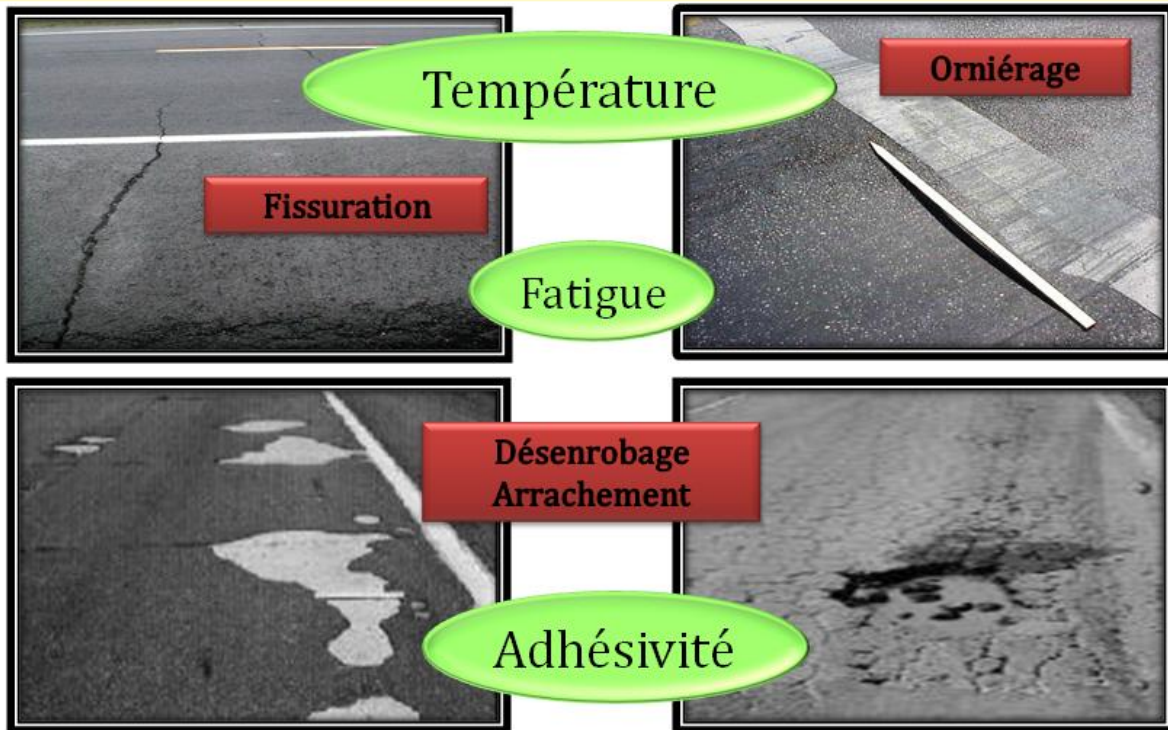


Croissance du trafic routier et
les performances de plus en
plus grandes des véhicules



Accumulation des déformations permanentes et de la
dégradation de la chaussée

Problématique : l'enrobé bitumineux



Limites des bitumes purs

Problématique : l'enrobé bitumineux



Origines de l'orniérage :

- déformation du sol support,
- amincissement par fluage des couches bitumineuses.

**phénomène des déformations permanentes:
fluage**



Apparition des premières ornières après un peu plus d'un mois de mise en service (13/11/06), la piste de roulement du tramway sur pneu du trançon *Champratel-Croix de Neyrat*.



ces ornières se sont créées au niveau des stations au droit des zones d'accélération et de freinage du Translohr.

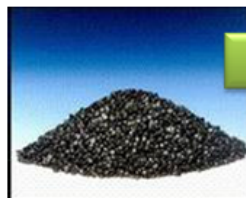


Problématique : l'enrobé bitumineux

13

Principaux facteurs pour améliorer la résistance aux déformations permanentes:

- Formulation : diminuer la teneur en bitume (6% du poids total des granulats)
- Diminuer la classe de bitume (faible pénétrabilité) : voie peu économique
- Utilisation de granulats 100 % concassés ;
- Qualité des granulats: non friables, durs,
- **Modification par ajout de polymères: voie la plus économique.**



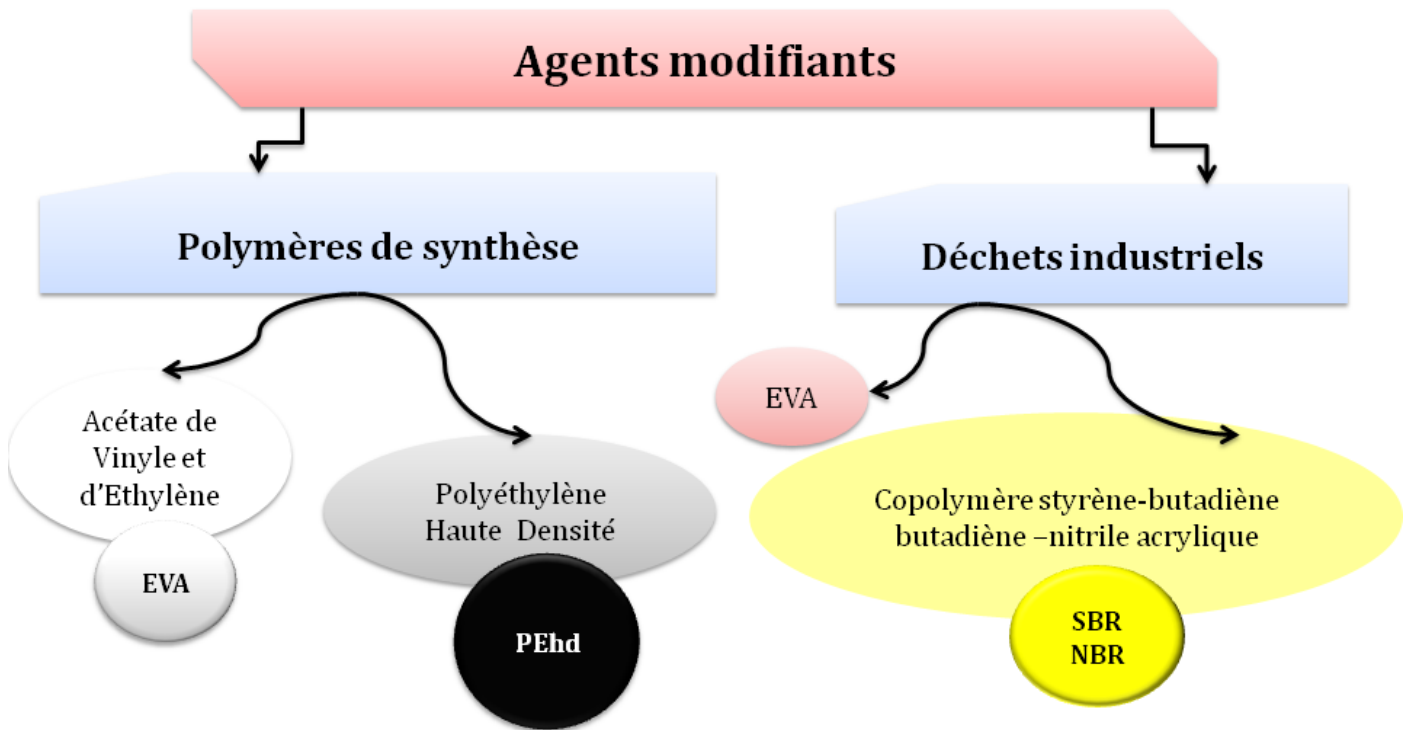
Produit additif

❖ Assurer le bon comportement des enrobés
❖ Facteurs économiques

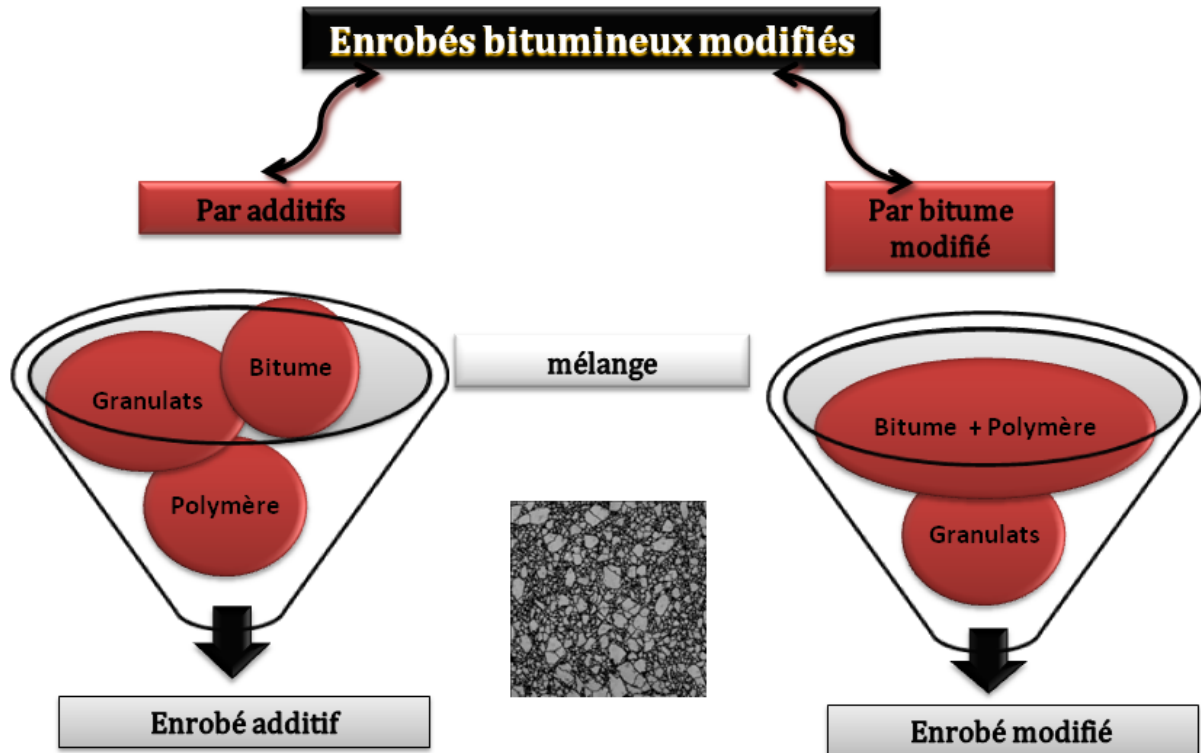
Problématique

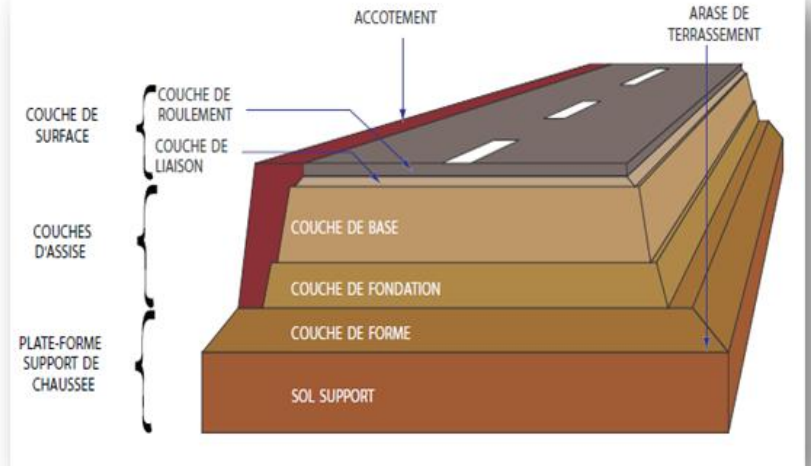
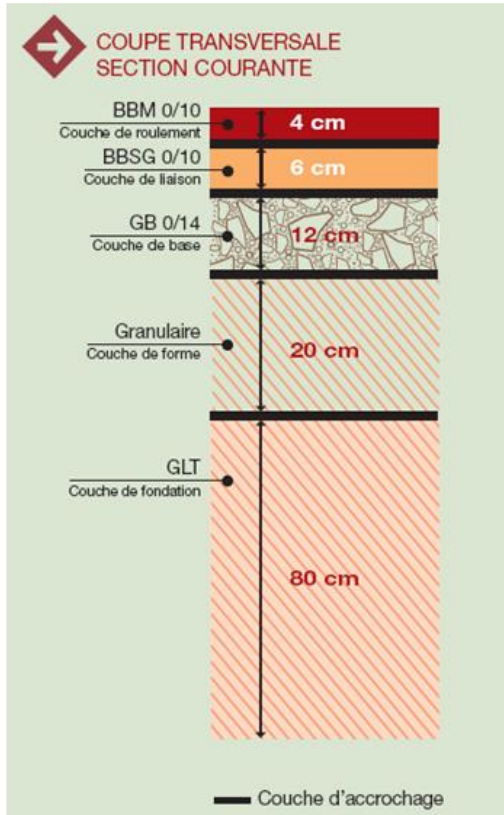
E. GHORBEL (L2MGC) colloque du 28 mai 2010

14

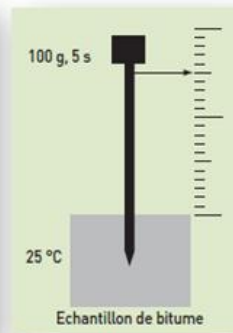


Problématique





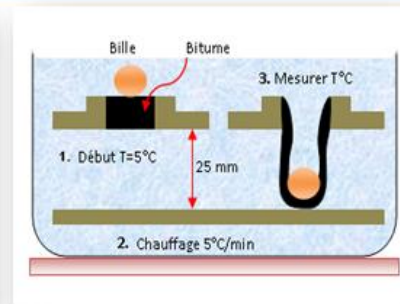
Essais de caractérisation



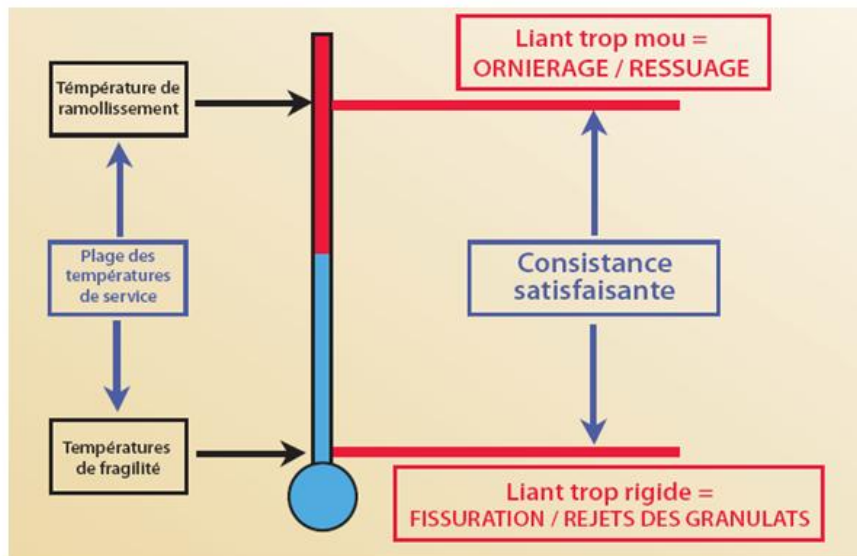
Essai de pénétrabilité



RTFOT



Température bille et anneau



Indice de susceptibilité thermique : mesure la variation de la consistance en fonction de la T

$$I_p = \frac{20 - 500d}{1 + 50d} \quad d = \frac{\log 800 - \log p_{en}}{TBA - 25}$$

I_p faible (<0) → bitume très susceptible → bitume peu résistant à l'orniérage

Spécifications

Spécifications européennes

Spécifications algériennes

Classes de bitume

20/30 35/50 50/70 70/100 160/220

20/30 40/50 60/70 80/100

Dur

Mou

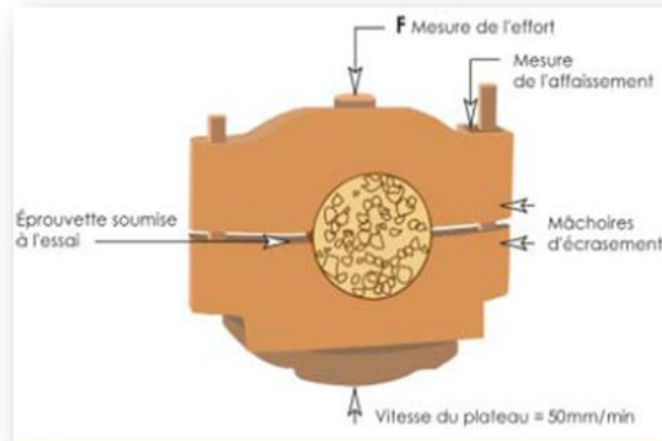
Phénomène d'orniérage
à haute température

TBA faible

Risque de fissuration par
fatigue thermique

Si ΔTBA
(RTFOT) $> 8^\circ C$

Essais de caractérisation : Enrobés



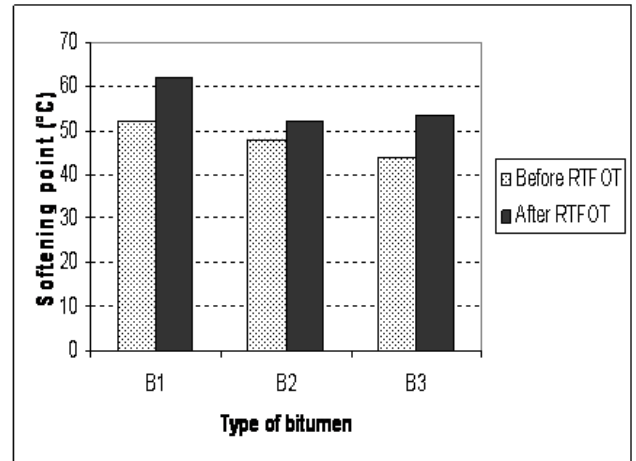
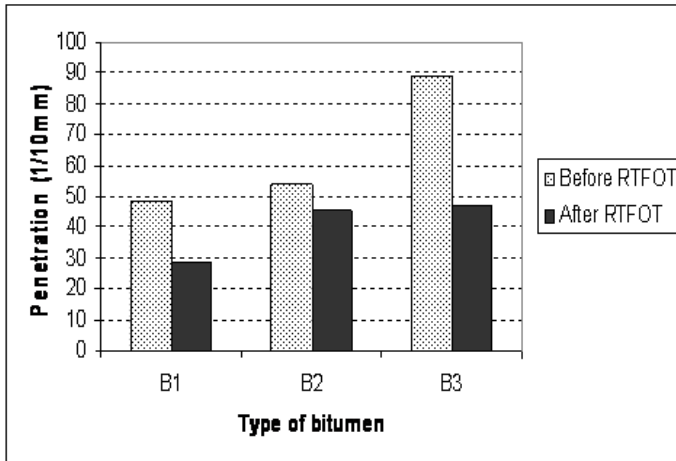
- ❖ **Stabilité Marshall (S)**: résistance maximale de l'éprouvette à la déformation (kN)
- ❖ **Fluage Marshall (F)**: valeur de l'affaissement de l'éprouvette selon son diamètre vertical au moment de la rupture (mm).
- ❖ **Quotient Marshall** : rapport S/F

Quotient plus
grand

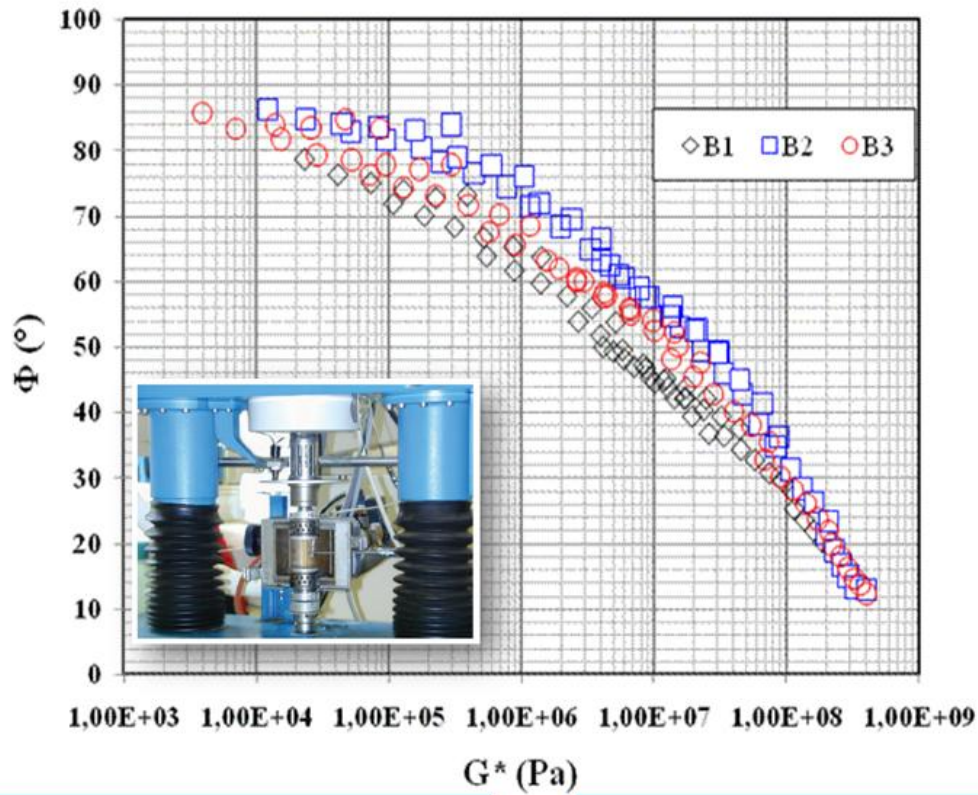


Meilleure résistance aux déformations
permanentes

Caractéristiques		Normes	liants			
			20/30	40/50	60/70	80/100
Pénétrabilité à 25°C (1/10 mm)		NF T66-004	20 à 30	40 à 50	60 à 70	80 à 100
Température bille et anneau (°C)		NF T66-004	57 à 62	52 à 57	47 à 52	41 à 47
Température bille et anneau (°C)	Bitume soufflé	NF T66-004	62 à 68	57 à 61	52 à 56	46 à 51
Ductilité à 25°C (cm)		NF T66-006	≥ 25	≥ 60	≥ 80	≥ 80
Différence de TBA après RTFOT (ΔTBA)		ASTM D 2872-85	≤ 8	≤ 9	≤ 9	≤ 9
Perte de masse au chauffage (%)		ASTM D 2872-85	-	< 1	< 1	< 2
Point d'éclair (°C)		NF T60-118	≥ 250	> 230	> 230	> 230
Densité à 25°C		NF T66-007	1 à 1,1	1 à 1,1	1 à 1,1	1 à 0,07
			20/30	35/50	50/70	70/100



Test	B1	B2	B3
grade	35/50	50/70	70/100
Penetration (1/10 mm) Pen	48	54	89
Softening point (°C) SP	52	48	44
Pfeiffer penetration Index (PI)	-0.79	-1.52	-1.43
Asphaltenes %	11.32	10.75	10.82



7,3 < Fréquence < 250 Hz

- 30 < Température < 80 °C

le paramètre R du modèle d'Anderson

$$R = \log \frac{|G_{\infty}^*|}{|G_{45}^*|}$$

$|G_{\infty}^*|$ is the limit of the modulus when the temperature tends toward very negative values and the frequency toward infinity. For all the binders, it is on the order of $3 \cdot 10^9$ Pa.

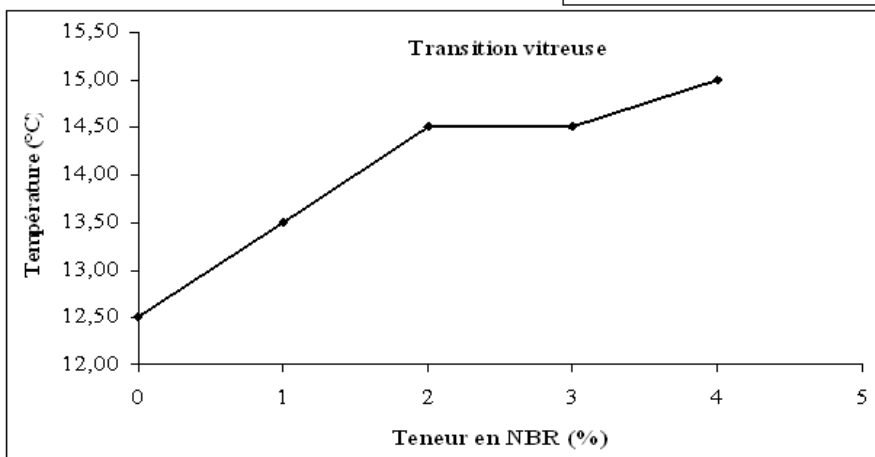
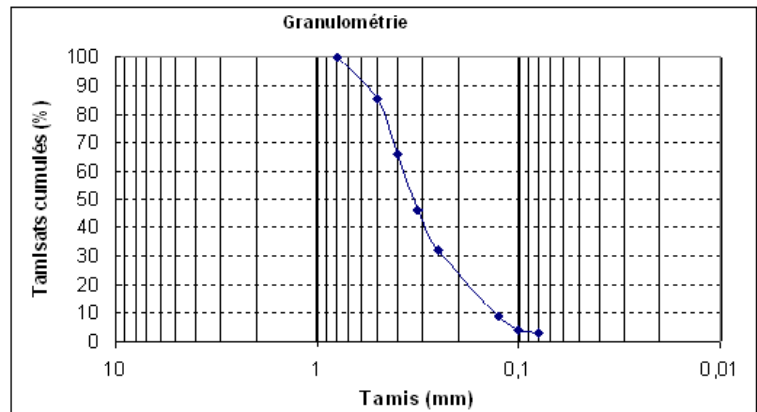
$|G_{45}^*|$ is the modulus for which phase angle is to 45

Bitumen	B1	B2	B3
R	2.42	1.91	2.19

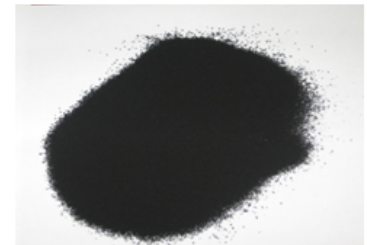
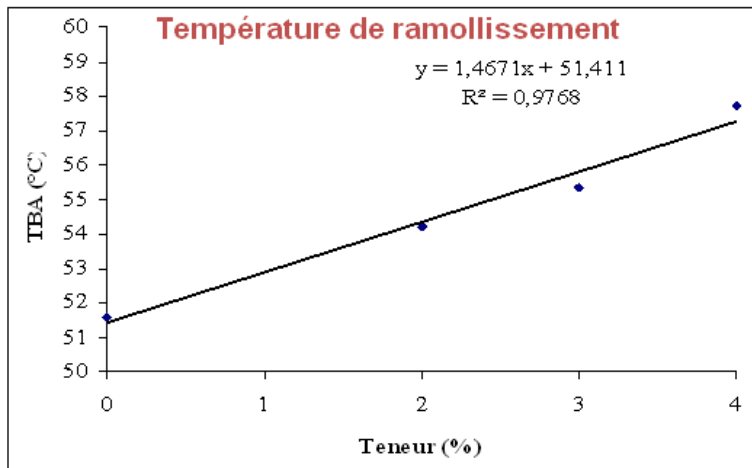
Bitume utilisé

Grade de bitume pur	35/50	Spécifications
Pénétrabilité à 25°C (1/10 mm)	42	35 à 50
Température bille et anneau «TBA» (°C)	51,6	50 à 58
Densité relative (g/cm ³)	1.029	-
Ductilité à 25°C (mm)	> 1000	> 1000
IP _{LCPC}	0,545	-

Broyage des chutes de semelles de chaussures



Résultats sur bitumes modifiés: NBR



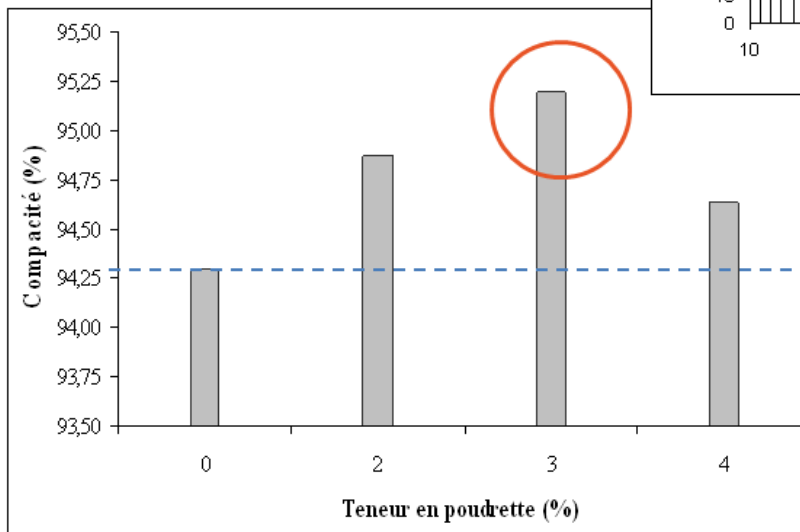
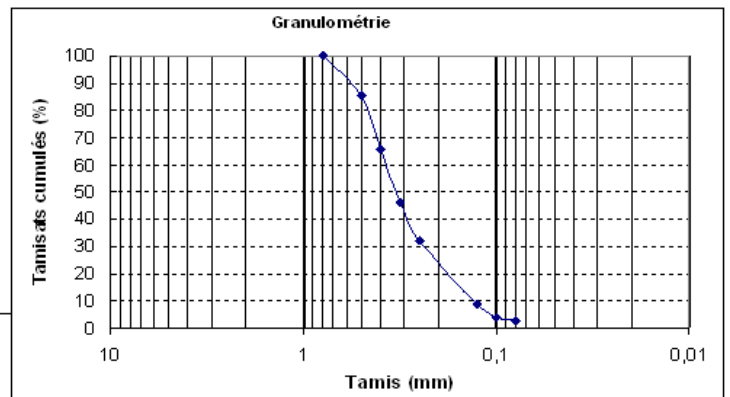
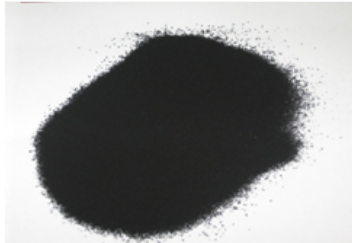
% Poudrette	A	IP(LCPC)
0	0,0369	0,545
2	0,0365	0,619
3	0,0358	0,753
4	0,0335	1,215

IP: indice de pénétrabilité, indicateur sur la susceptibilité à la température du bitume.

A: susceptibilité thermique

$$A = \frac{\log(\text{Pen}(T_1)) - \log(\text{Pen}(T_2))}{T_1 - T_2} \quad 50 \times A = \frac{20 - IP}{10 + IP}$$

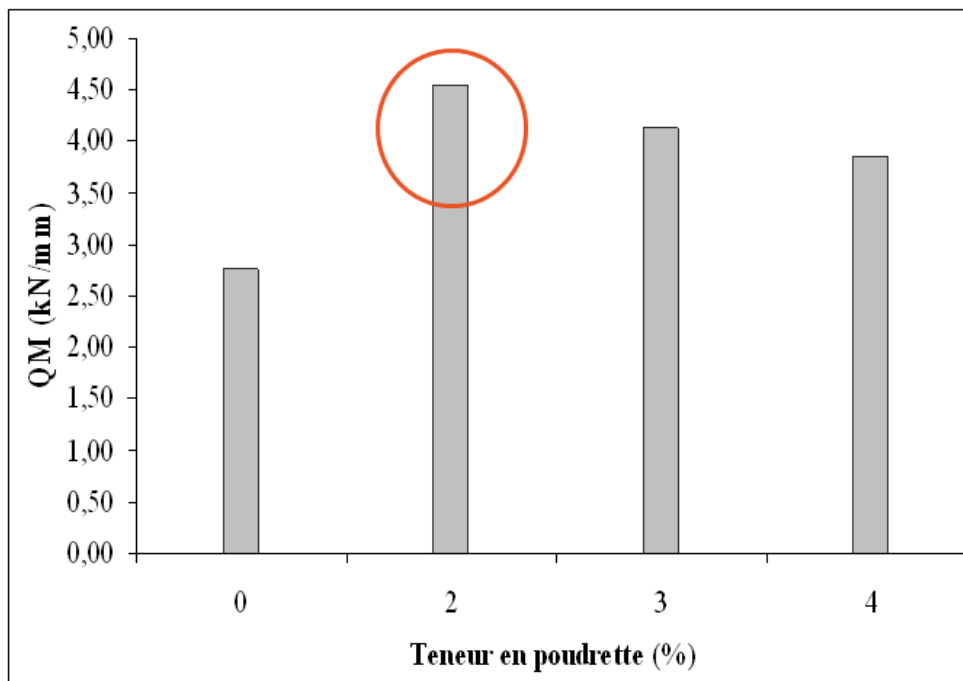
Résultats sur bitumes modifiés: NBR



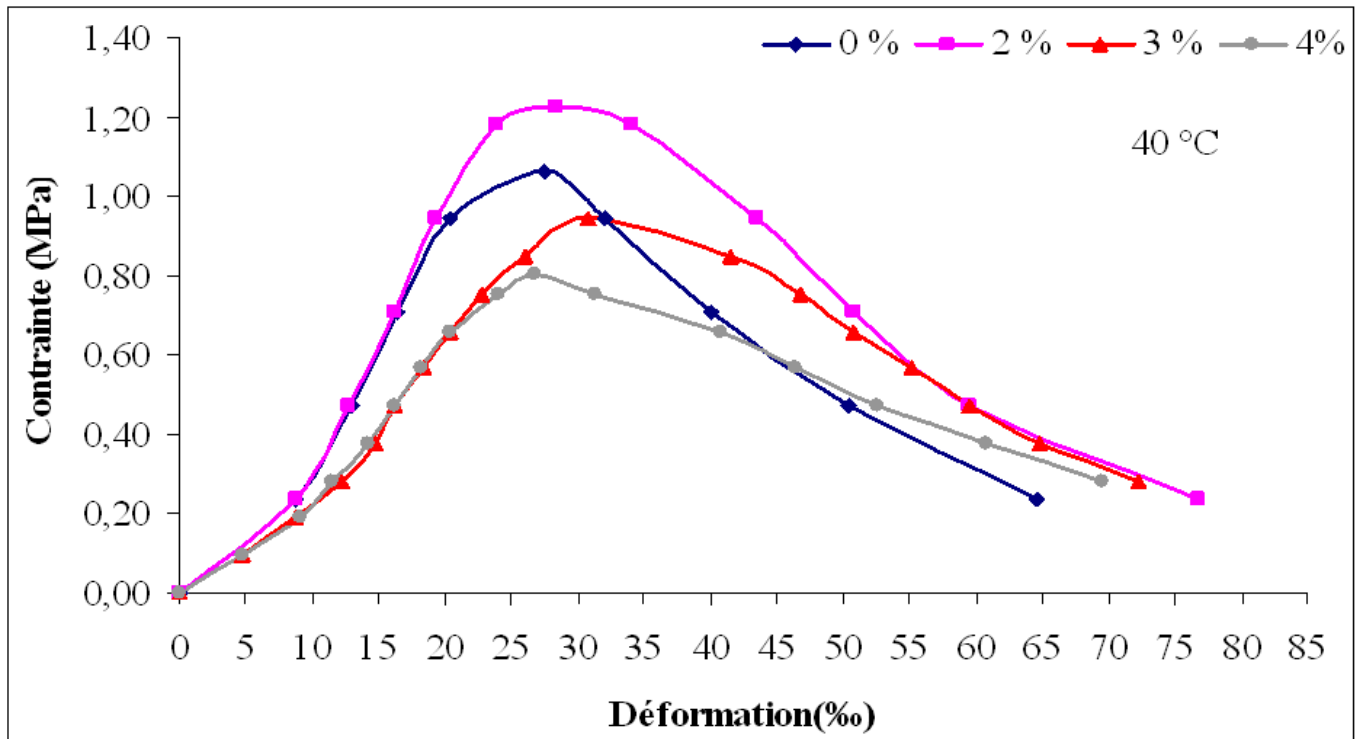
Résultats sur bitumes modifiés: NBR

29

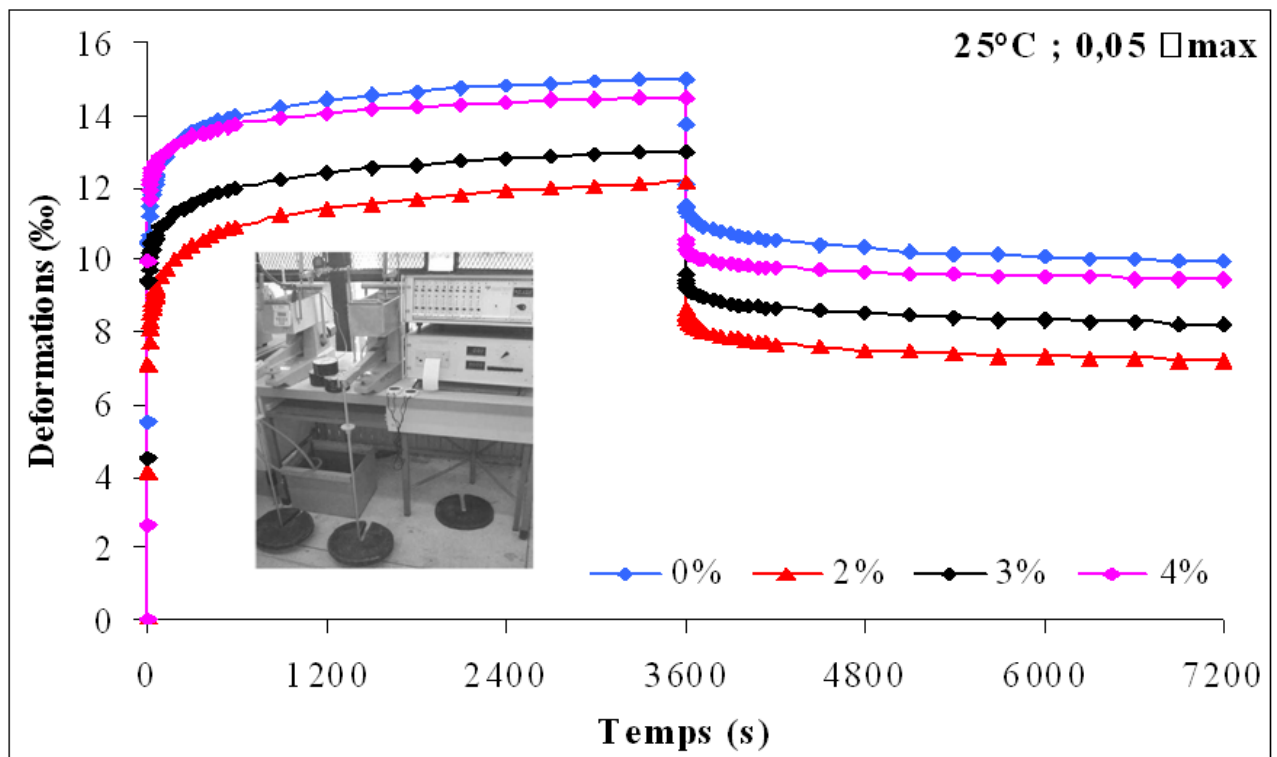
Le quotient Marshall noté « QM » : indicateur pour la résistance aux déformations permanentes et donc l'orniéage des enrobés bitumineux [Hin 2004].



Résultats sur bitumes modifiés: NBR



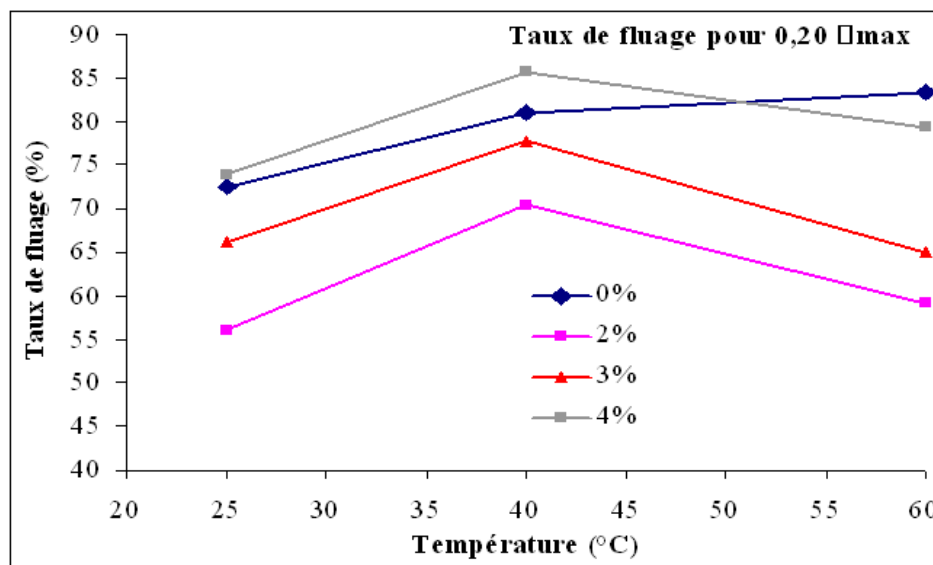
Résultats sur bitumes modifiés: NBR



Résultats sur bitumes modifiés: NBR

$$\text{taux de fluage} = \frac{\varepsilon(t = 15s)}{\varepsilon(t = 3600s)}$$

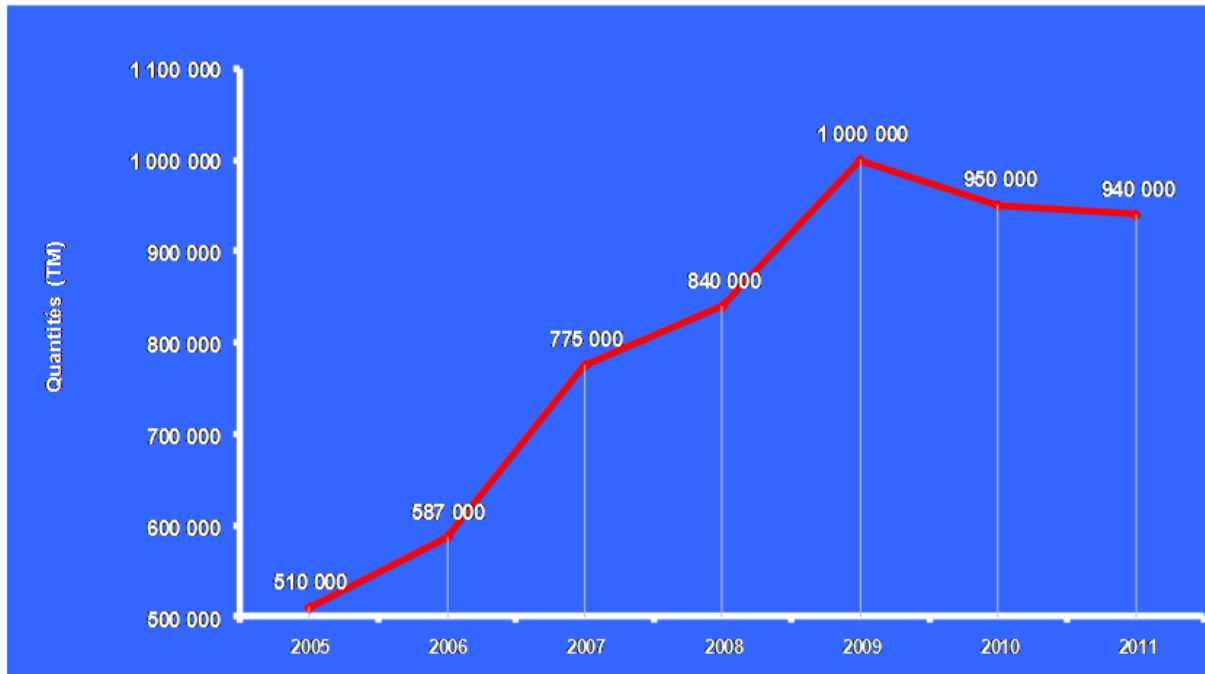
un indicateur quant à la résistance de l'enrobé à l'orniérage.



Développement du réseau autoroutier en Algérie

33

Évolution de la consommation nationale en bitumes



Nassima Slimani le 19 & 20 avril 2008, 4ème conférence nationale des cadres de Naftal

Programme des Travaux Publics (2007 - 2011)

Types de projets	Consistance (KM)	Besoin en bitumes (TM)
Autoroute Est-Ouest	1 132	891 500
Projets structurants	1 707	670 000
Projets routiers de développement	21 950	2 030 000
Projets d'entretien des routes	12 000	438 500
Infrastructures aéroportuaires		130 000
TOTAL GENERAL	36 789	4 160 000

Nassima Slimani le 19 & 20 avril 2008, 4ème conférence nationale des cadres de Naftal

En France

En 2006 la consommation nationale annuelle est estimée à **3,4 millions de tonnes**.

Comme dans une majorité de pays européens, plus de 90 % de la consommation globale de bitume est consacrée aux applications routières, les applications industrielles (étanchéité et isolation) absorbant un peu moins de 10 % de la consommation globale.

La consommation mondiale de bitume est estimée entre 80 et 85 Mt

Bernard Lombardi, Directeur Général du Groupement Professionnel des Bitumes (GPB) dans France BTP

Quels développements, quelles perspectives?

BB

- ✓ Elaborer des bitumes modifiés par plusieurs types de matières plastiques: couches de plus en plus minces ...
- ✓ Etudier la tenue au gel/dégel des BB modifiés
- ✓ Estimer le bruit de roulement pour le réduire ...?

BH

- ✓ Elaborer des BAP modifiés par de la poudrette de caoutchoucs
Qualités sonores, amortissantes,





LE STOCKAGE EN MILIEU GÉOLOGIQUE PROFOND : MODIFICATIONS INDUITES À LA MICROSTRUCTURE DES ROCHES

Beatriz Menéndez
Géosciences et Environnement Cergy

1. **Stockage de déchets radioactifs dans des granites :**
 - **Influence de la fissuration thermique et mécanique sur les propriétés physiques et la microstructure du granite de La Peyratte**
 - **Diffusion / retardation des radionucléides par le granite : analogue naturel de El Berrocal**
2. **Stockage de déchets radioactifs dans des argilites : étude de l'anisotropie des propriétés physiques et son interprétation microstructurale**
3. **Simulation de la circulation d'eau agressive dans le cas du stockage de CO₂ en profondeur : modification du système poreux d'un assemblage de billes de verre**

Stockage de déchets radioactifs dans des granites : Influence de la fissuration thermique et mécanique sur les propriétés physiques et la microstructure du granite de La Peyratte

Origine de la fissuration:

Processus Thermiques	:	fissuration thermique
Processus Tectoniques	:	fissuration mécanique

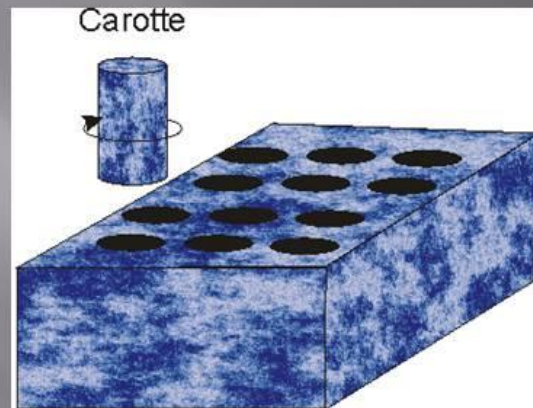
Etude proposée:

- Mesure des propriétés physiques et microstructure
- Déformation des échantillons
- Mesure des propriétés physiques et microstructure
- Etude microstructurale de la fissuration induite

Roche étudiée: Granite de La Peyratte

- Taille de grain: 0,5 - 1,5 mm

Préparation des échantillons



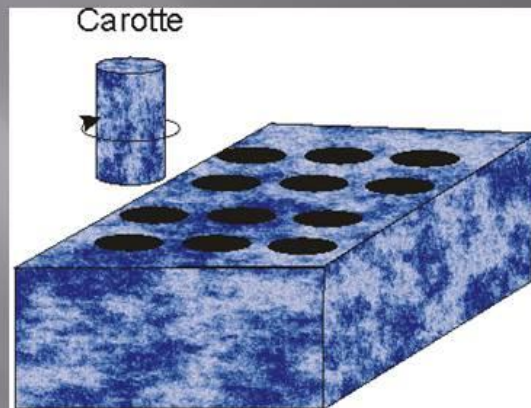
Déformation mécanique (MC)



Déformation thermique (TC)



Préparation des échantillons



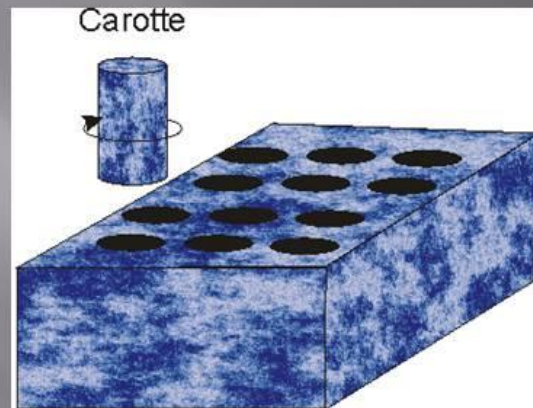
Déformation mécanique (MC)



Déformation thermique (TC)



Préparation des échantillons



Déformation mécanique (MC)



Déformation thermique (TC)



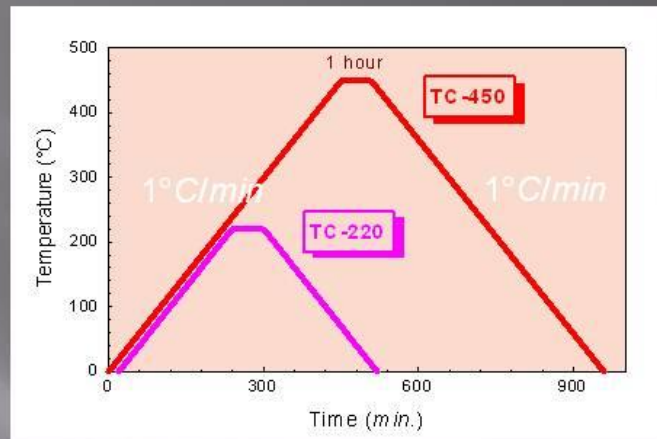
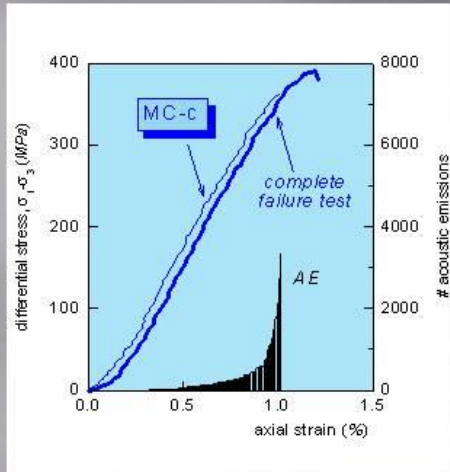


Table 1
Results from mechanical tests on La Peyratte granite samples. NA means nonapplicable

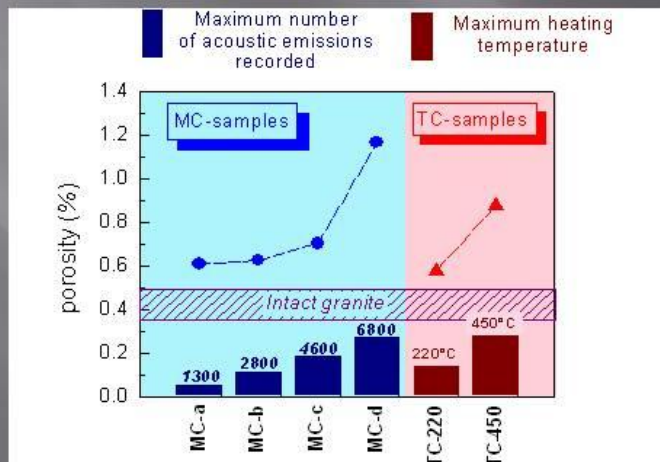
Sample	Initial porosity (%)	Young's modulus (GPa)	Differential stress at failure (MPa)	Maximum differential stress (MPa)	Maximum AE counts (cumulative)	Comments
FT-D	—	41	387	NA	12000	complete triaxial on a dry sample
MC-a	0.40	43	NA	360	1300	dry
MC-b	0.41	41	NA	344	2800	dry
MC-c	0.46	43	NA	365	4600	dry
FT-W	0.52	40	302	NA	10500	complete triaxial on a water saturated sample
MC-d	0.47	42	NA	312	6800	water-saturated

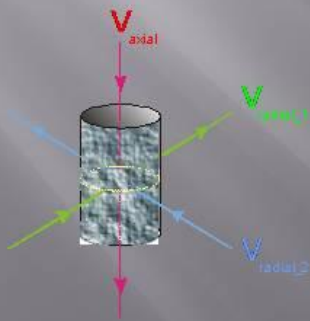
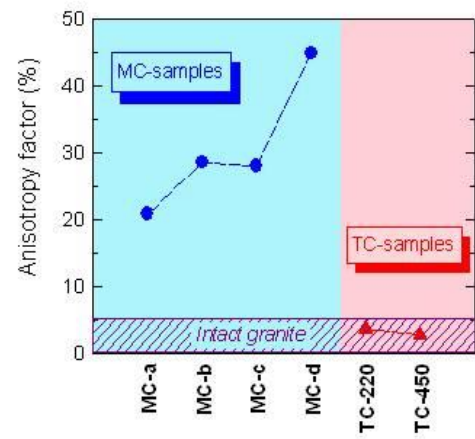
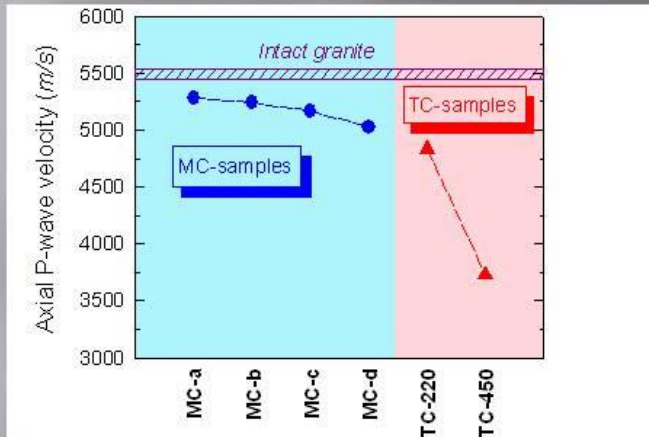
Echantillons :

- «Intacts»
- Série MC
- Série TC

Propriétés :

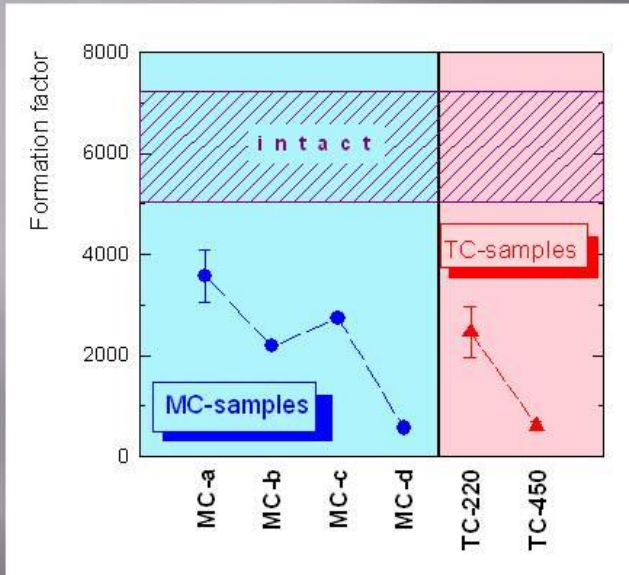
- Porosité
- Vitesse des ondes P
- Atténuation des ondes P
- Anisotropie dans la vitesse des ondes P
- Conductivité électrique
- Perméabilité à l'eau



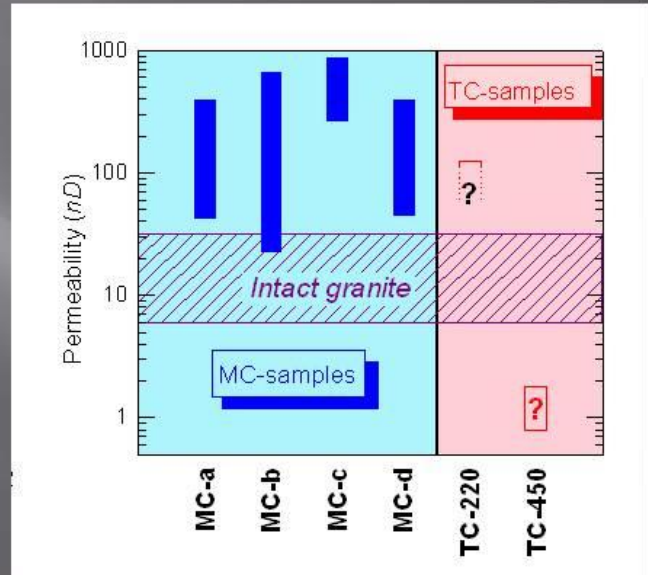


$$\text{Anisotropy factor} = \frac{V_{axial} - V_{radial}}{V_{axial}}$$

Conduction électrique : facteur de formation

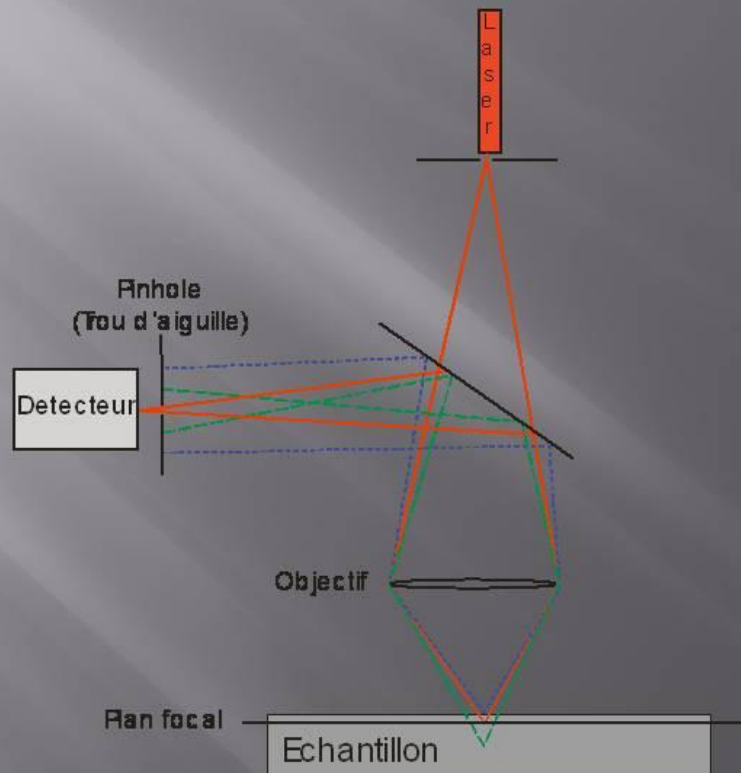


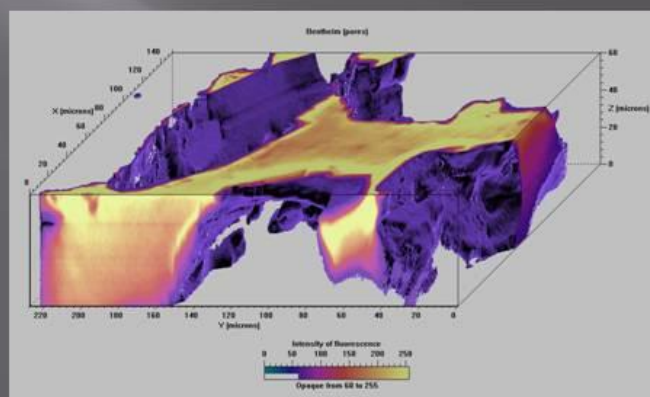
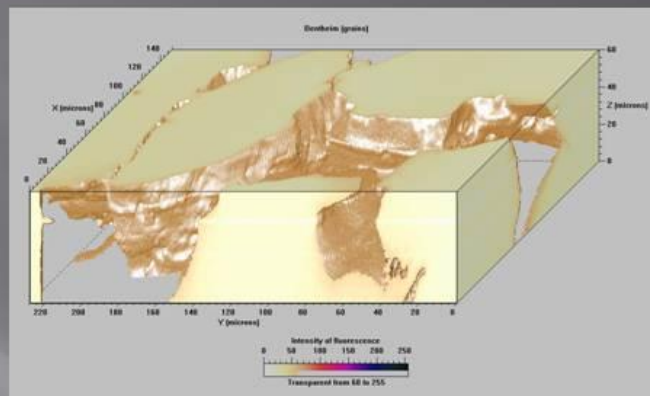
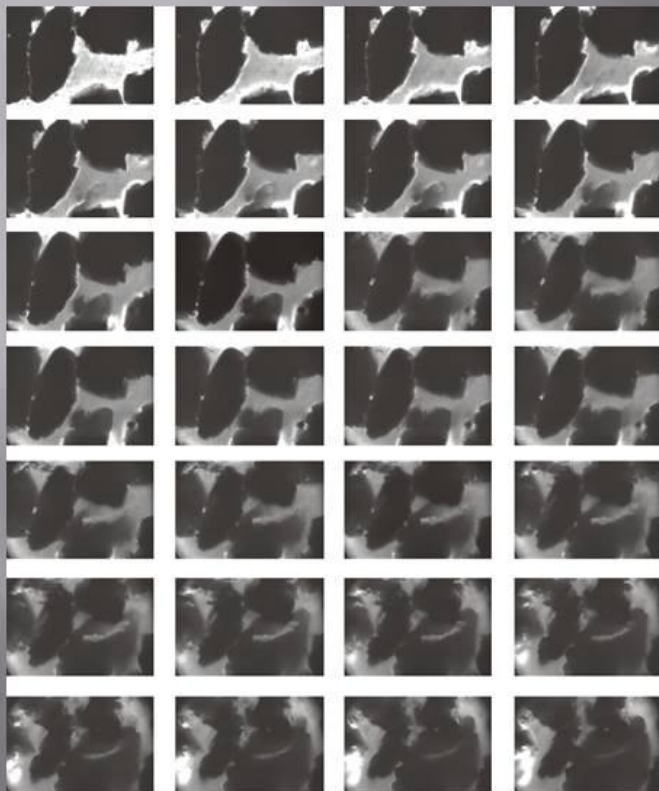
Perméabilité



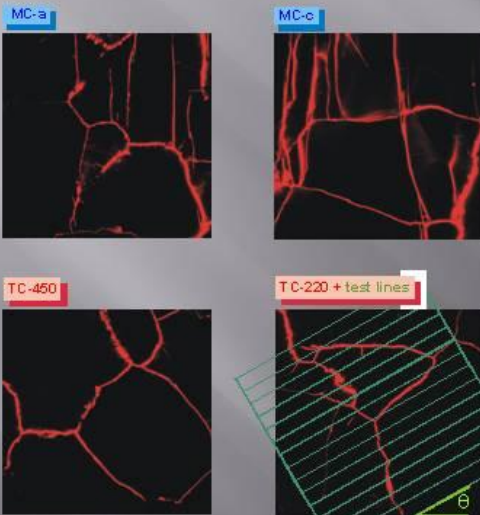
Principe de la microscopie confocale

basée sur www.gonda.ucla.edu/bri_core/confocal.htm

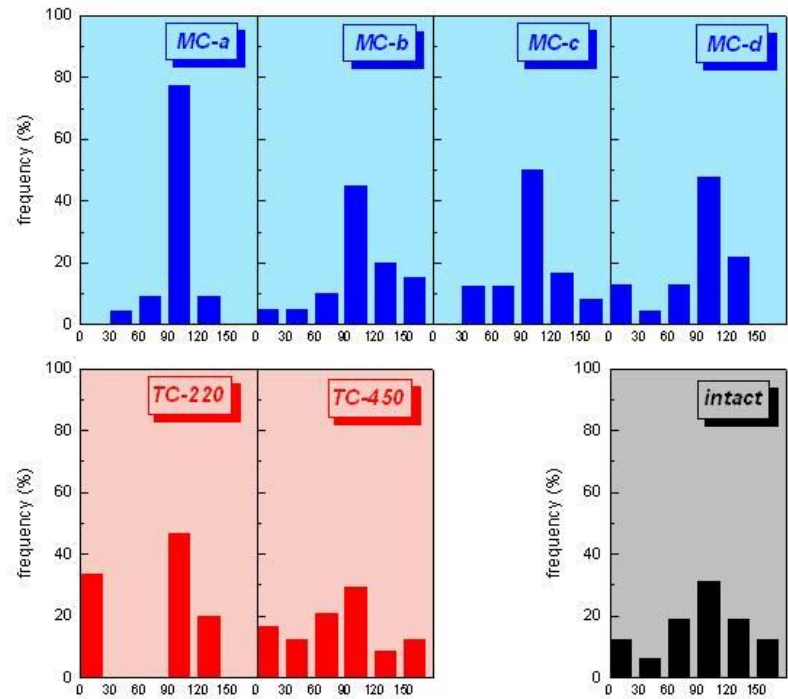




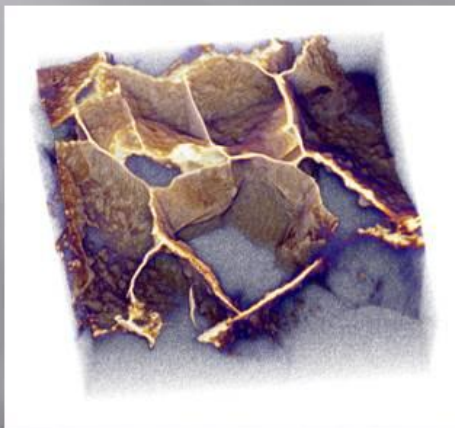
Analyse microstructurale sur des sections 2D



Distributions du nombre minimal d'intersections



Reconstructions 3D de la fissuration



Echantillon intact
320 μ m x 320 μ m x 90 μ m



σ_1



Echantillons déformés mécaniquement

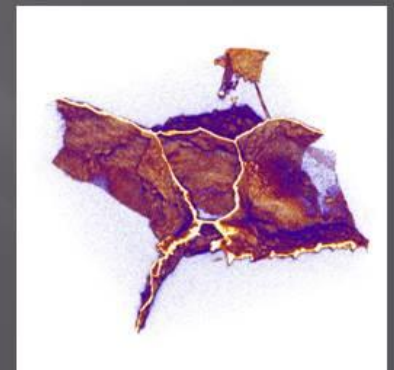
320 μ m x 320 μ m x 50 μ m

180 μ m x 180 μ m x 50 μ m



Echantillons déformés thermiquement

450°C 320 μ m x 320 μ m x 200 μ m



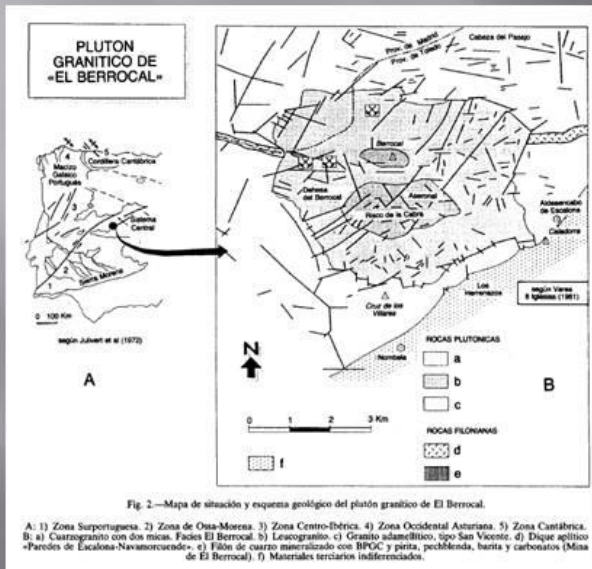
220°C 320 μ m x 320 μ m x 60 μ m

Conclusions

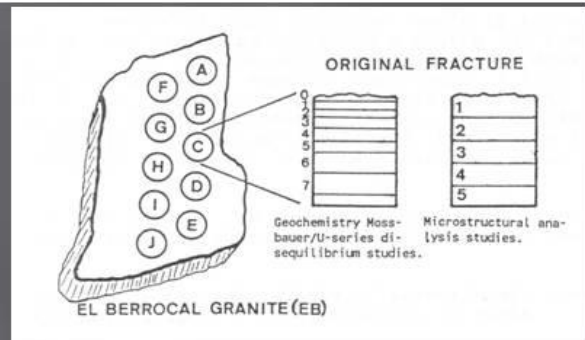
Stockage de déchets radioactifs en milieu granitique :

- la fissuration produit :
 - une augmentation de : la porosité,
l'atténuation des ondes
la perméabilité
l'anisotropie (fissuration mécanique)
 - une diminution de : V_p
facteur de formation

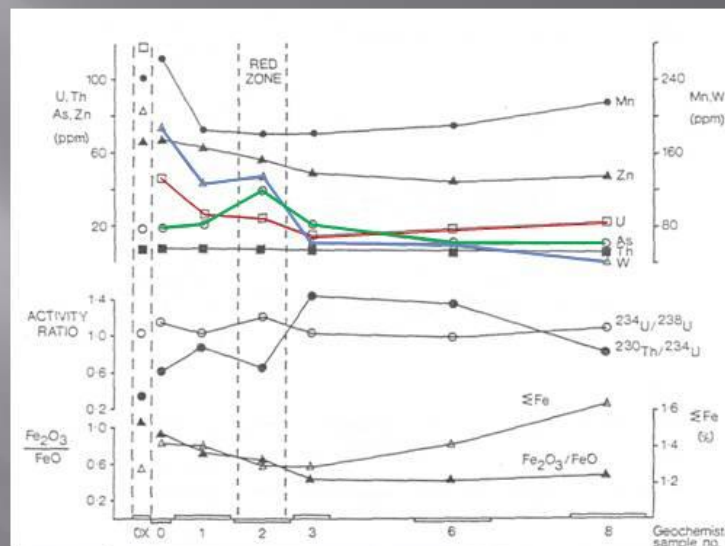
Stockage de déchets radioactifs dans des granites : Diffusion / retardation des radionucléides par le granite : analogue naturel de El Berrocal



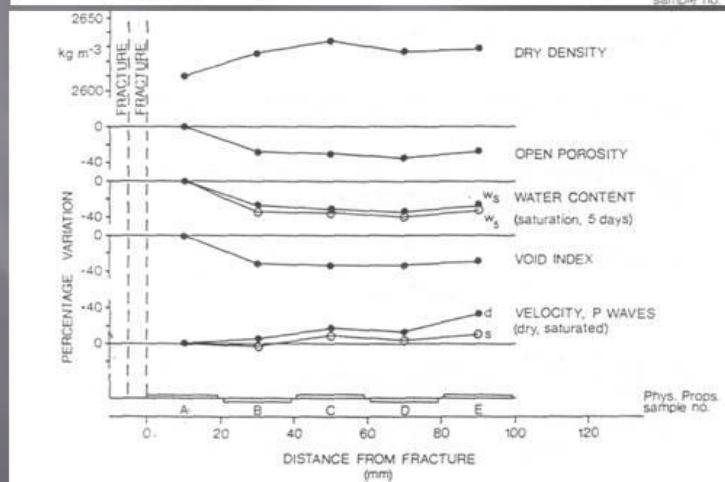
Pérez del Villar et al. 1993



Géochimie



Propriétés physiques



Etude microstructurale

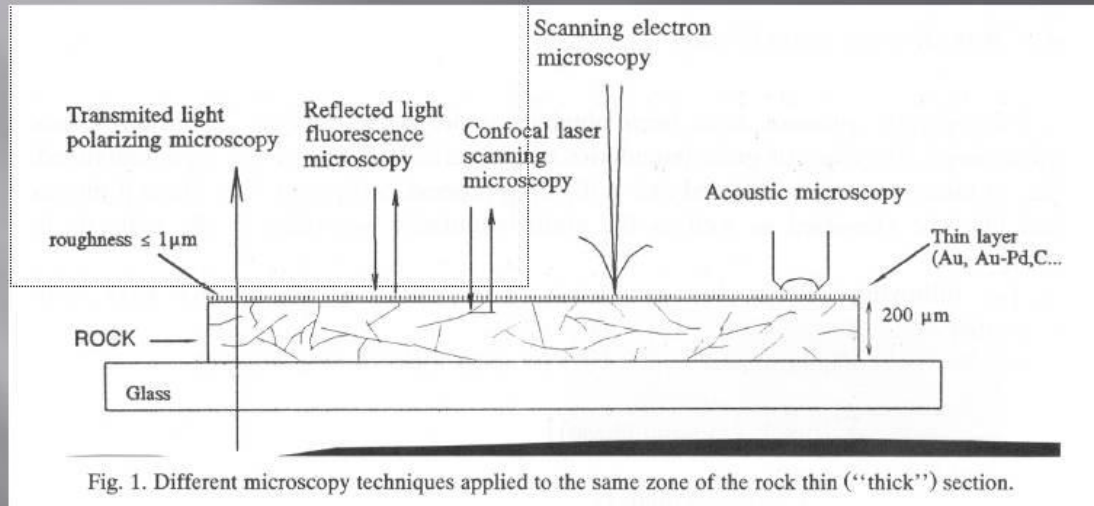
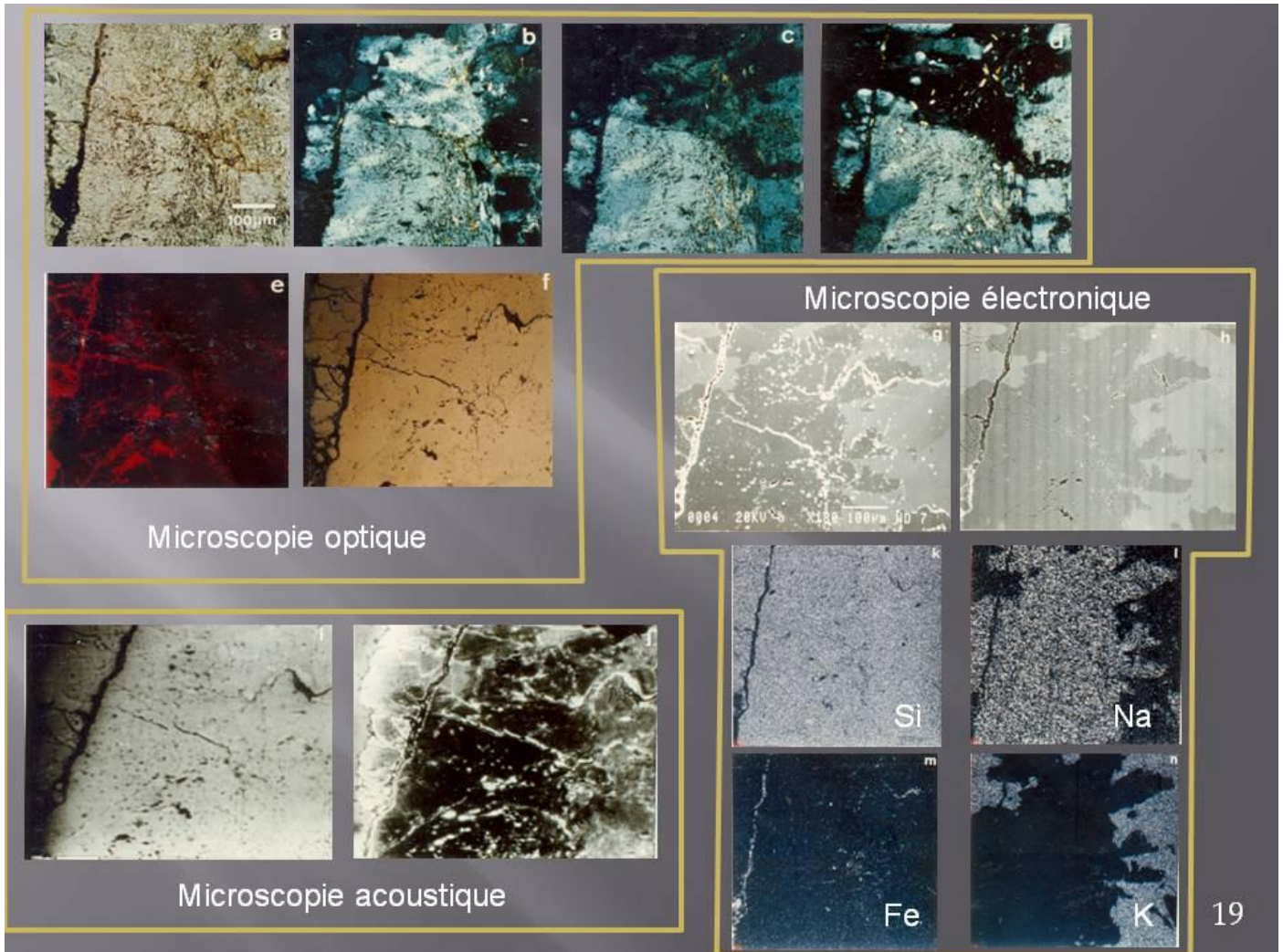
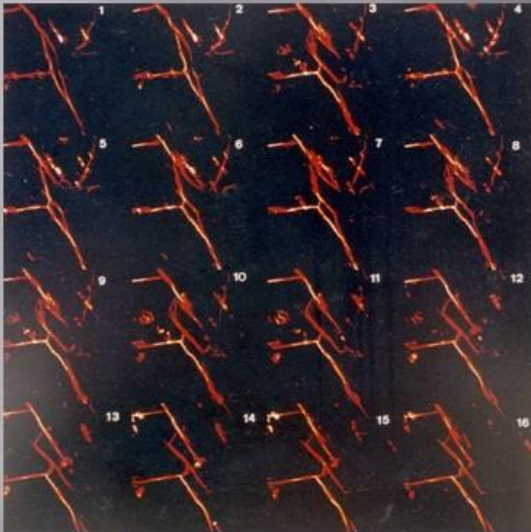


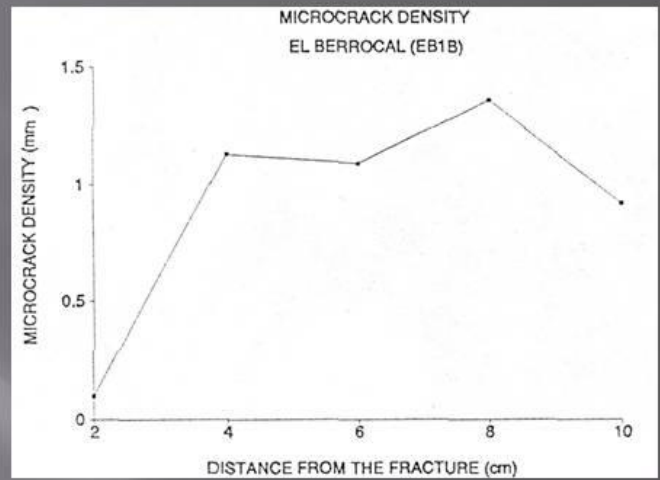
Fig. 1. Different microscopy techniques applied to the same zone of the rock thin ("thick") section.



Microscopie confocale



Variation de la fissuration



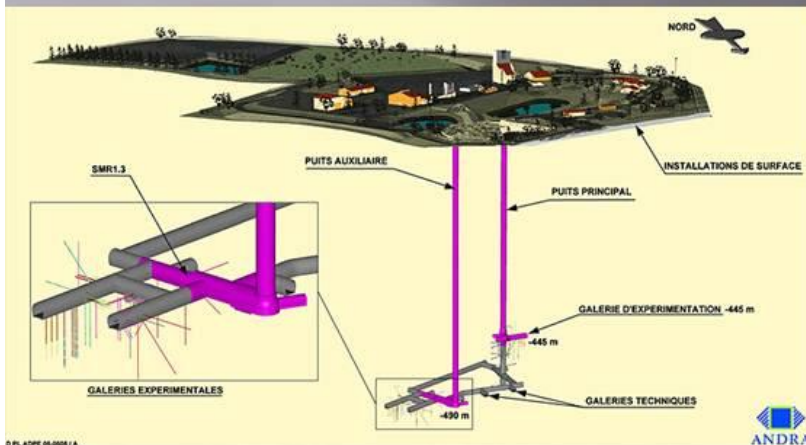
APERTURA (μm)	N° INTERSECC. ROCA	N° INTERSECC. CUARZO	N° INTERSECC. FELDESPATO	N° INTERSECC. MICA
< 0,5	2925	1013	1760	151
0,5 - 1	470	170	285	15
1 - 1,5	140	46	92	2
1,5 - 2	77	29	47	1
2 - 2,5	31	11	20	0
2,5 - 3	28	13	15	0
3 - 3,5	15	6	9	0
3,5 - 4	21	10	11	0
4 - 4,5	0	0	0	0
4,5 - 5	16	6	10	0
5 - 5,5	13	6	7	0
> 5,5	98	35	63	0
TOTAL	3834	1345	2319	169

Conclusions

Stockage de déchets radioactifs en milieu granitique :

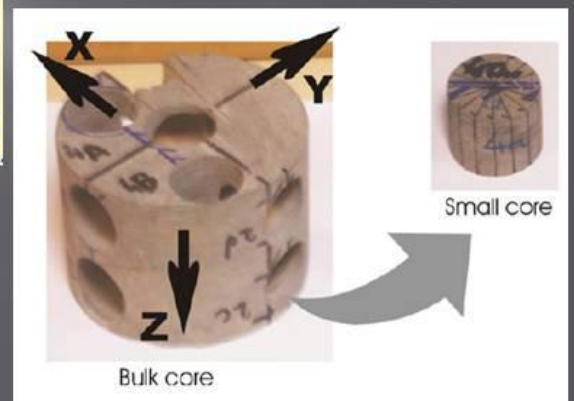
- La roche à proximité d'une fracture hydrogéologiquement active est très différente de la roche intacte
- La zone d'altération microstructurale est très étroite ($< 100 \mu\text{m}$)
- La diffusion est restreinte à la zone altérée
- La diffusion a une efficacité limitée comme mécanisme de rétention de radionucléides

Stockage de déchets radioactifs dans des argilites : étude de l'anisotropie des propriétés physiques et interprétation microstructurale

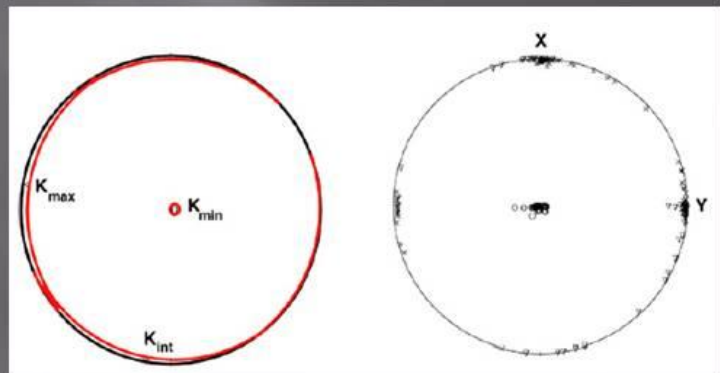
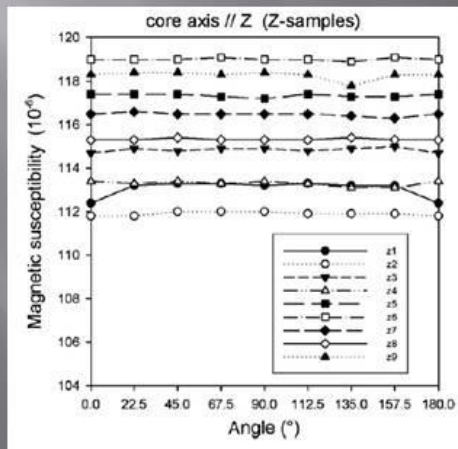
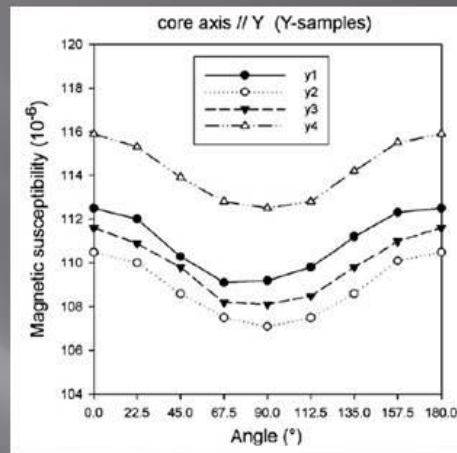
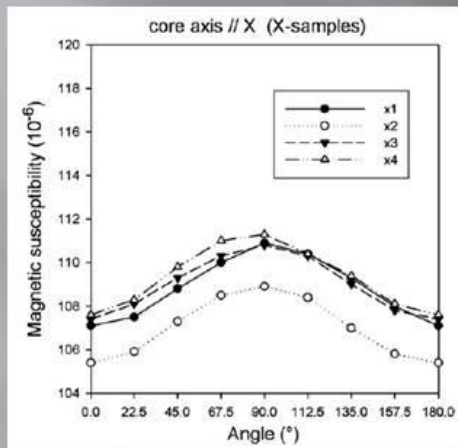


Mesures :

- Susceptibilité magnétique
 - Vitesse de propagation des ondes
- Etude microstructurale

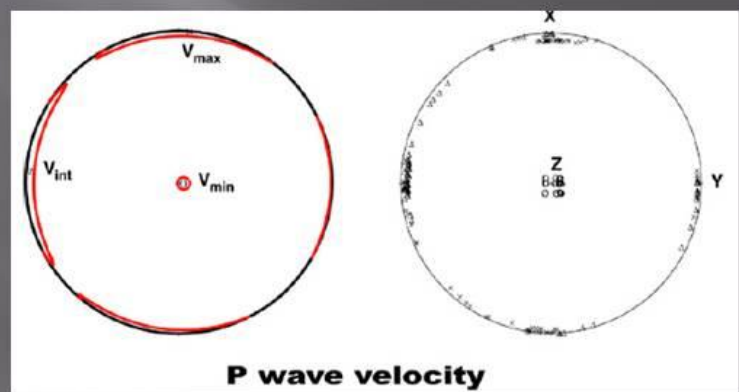
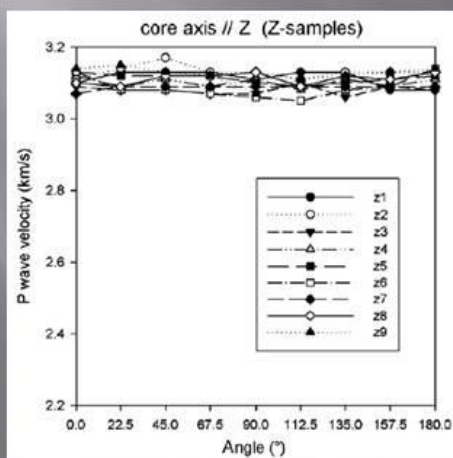
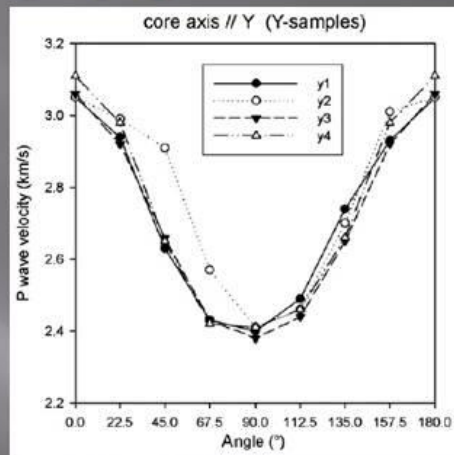
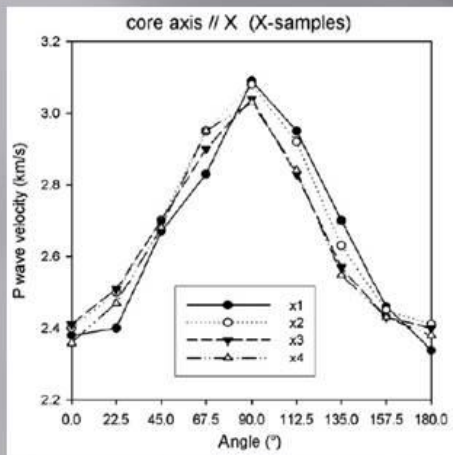


Susceptibilité magnétique

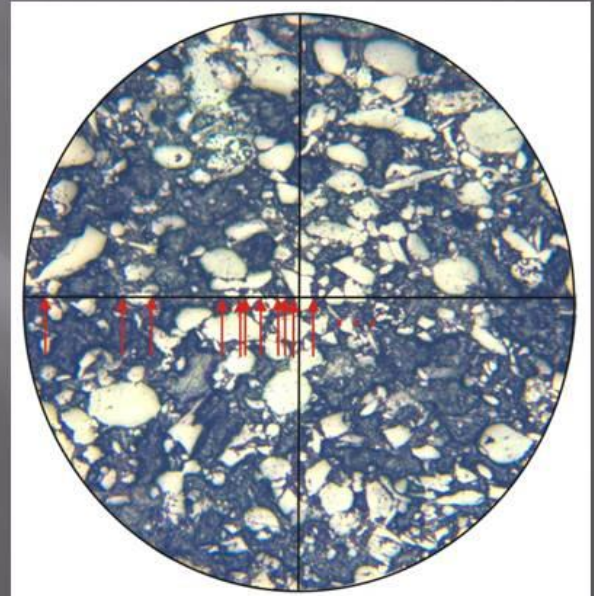
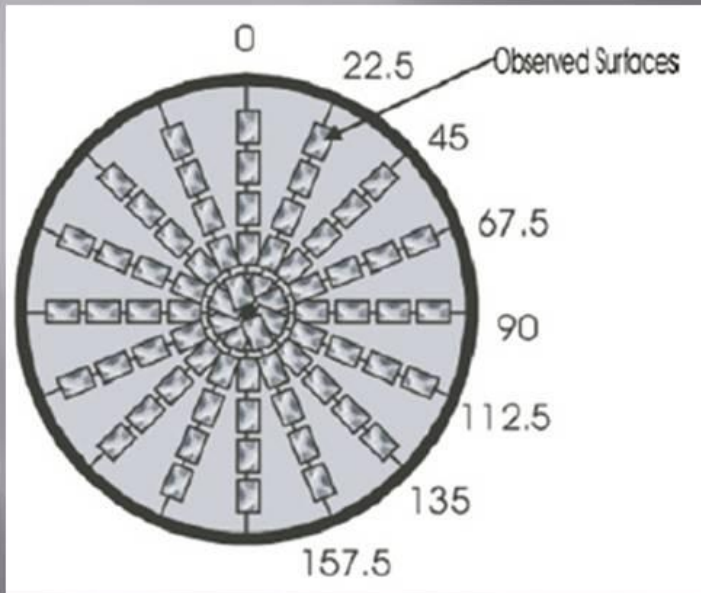


23

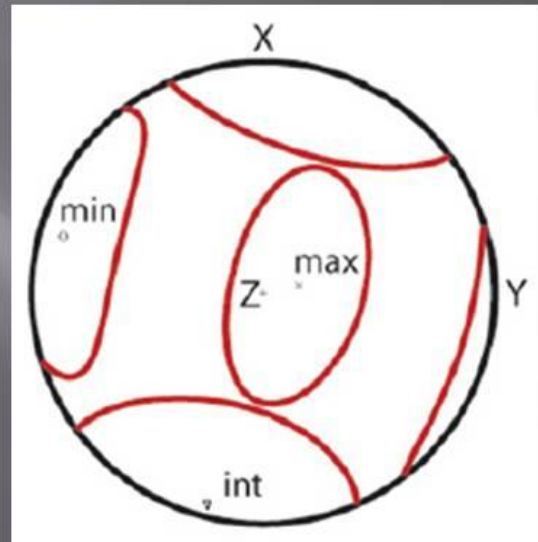
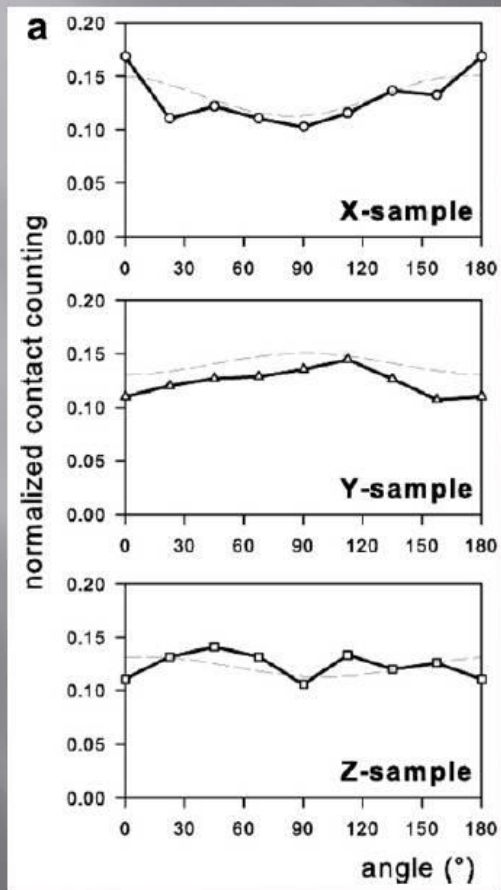
Vitesse de propagation des ondes

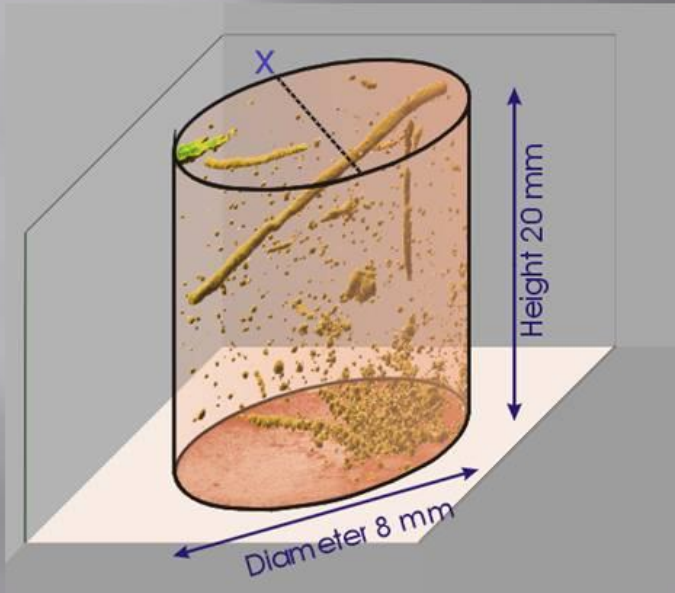


Analyse microstructurale

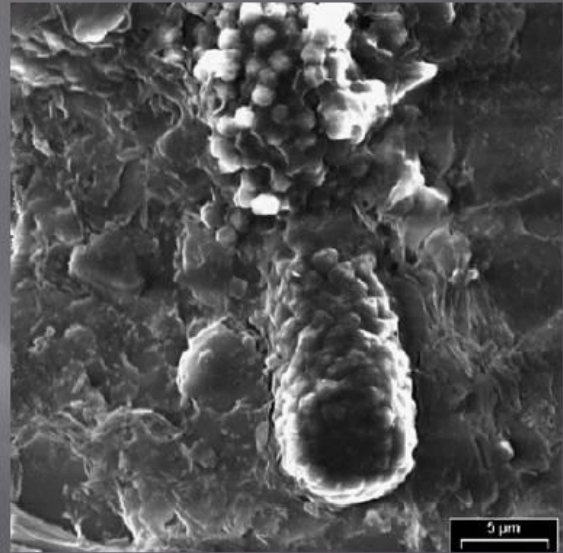


Microscopie optique



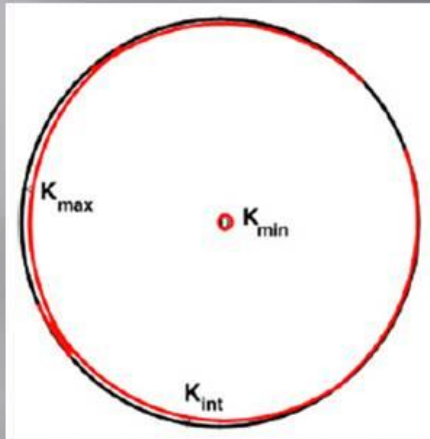


Microtomographie
aux rayons X

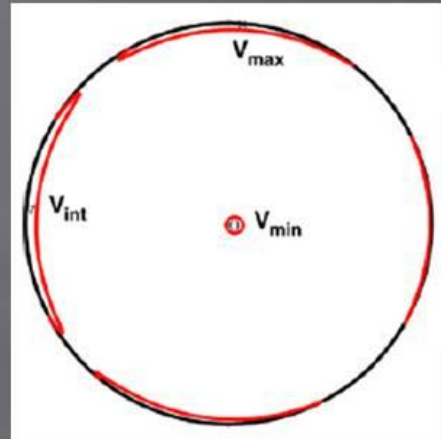


Microscopie électronique
à balayage

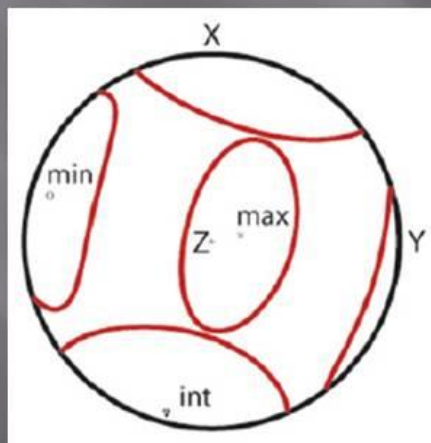
Susceptibilité magnétique



Vitesse propagation ondes



Microstructure



Conclusions

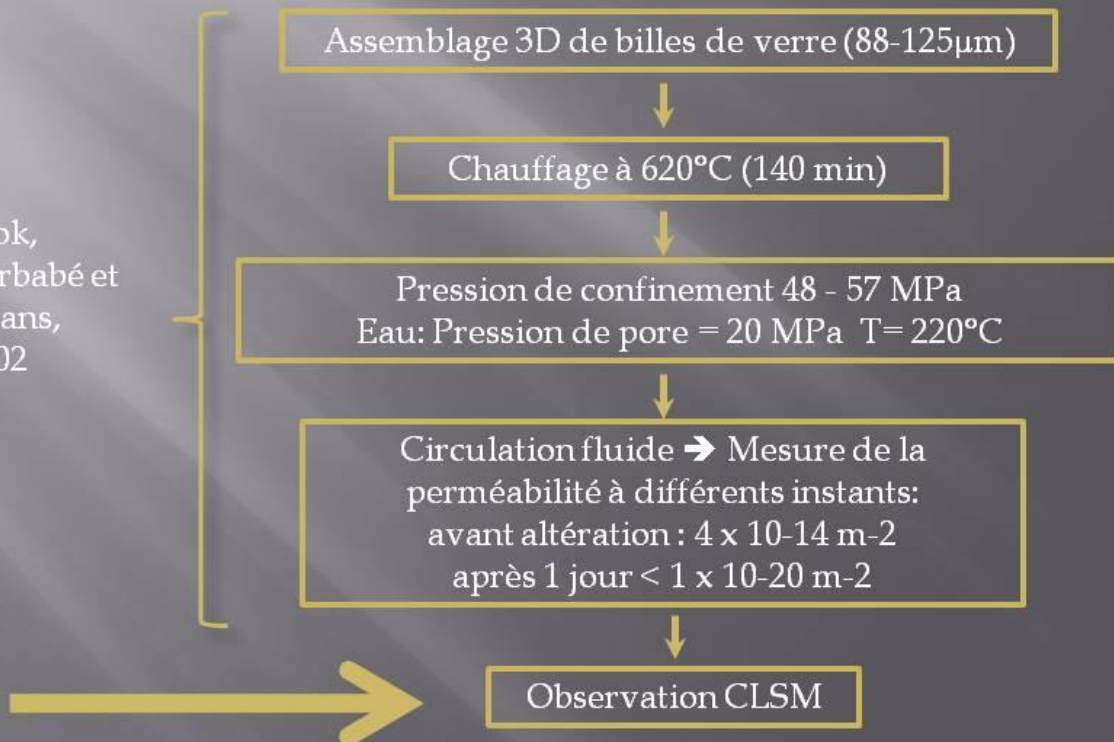
Stockage de déchets radioactifs en milieu argileux:

- Pour la susceptibilité magnétique et la vitesse de propagation des ondes, l'axe minimum se trouve perpendiculaire à la stratification et les axes maximum et moyen dans la stratification
→ Comportement isotrope transverse
- La microstructure présente un comportement isotrope transverse → distribution des grains sur les plans de stratification
- Les zones de concentration de pyrite ne contribuent pas à l'anisotropie générale de la roche

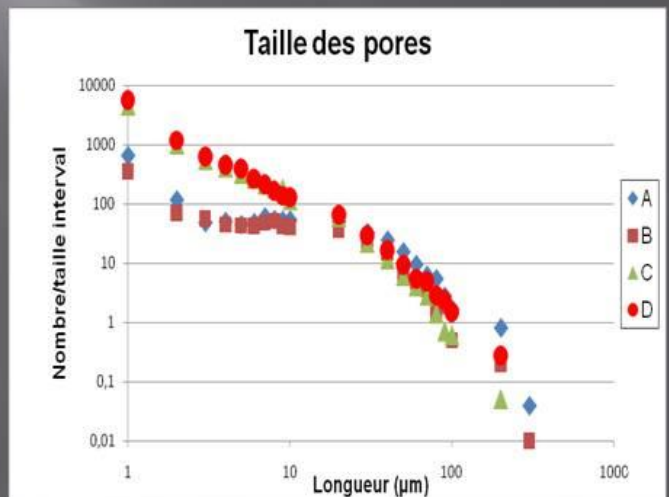
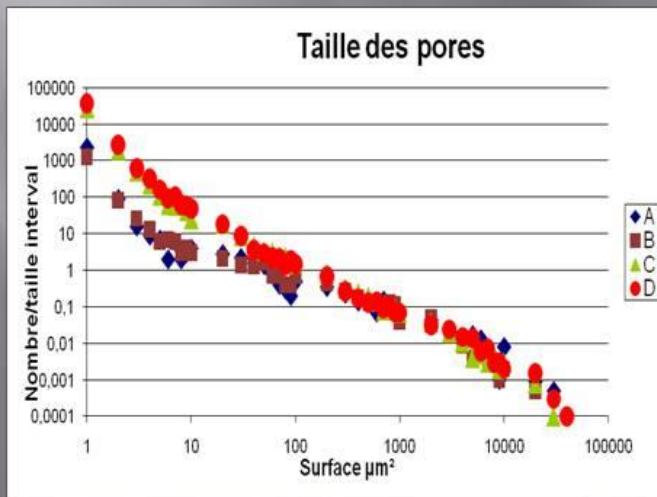
La sédimentation conditionne l'anisotropie des propriétés physiques

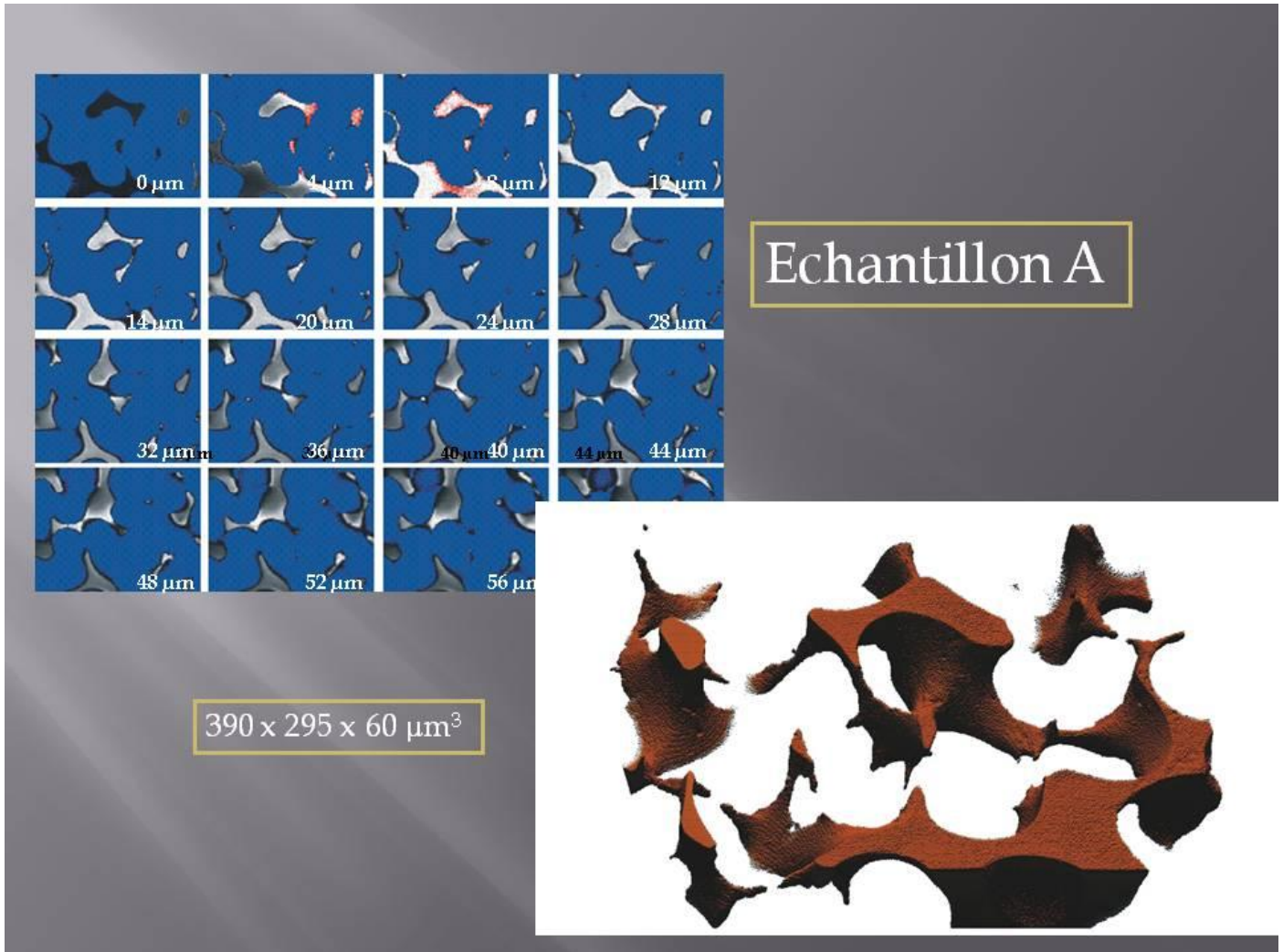
Stockage de CO₂ : Circulation d'eau « agressive » pour simuler le cas du stockage de CO₂ en profondeur

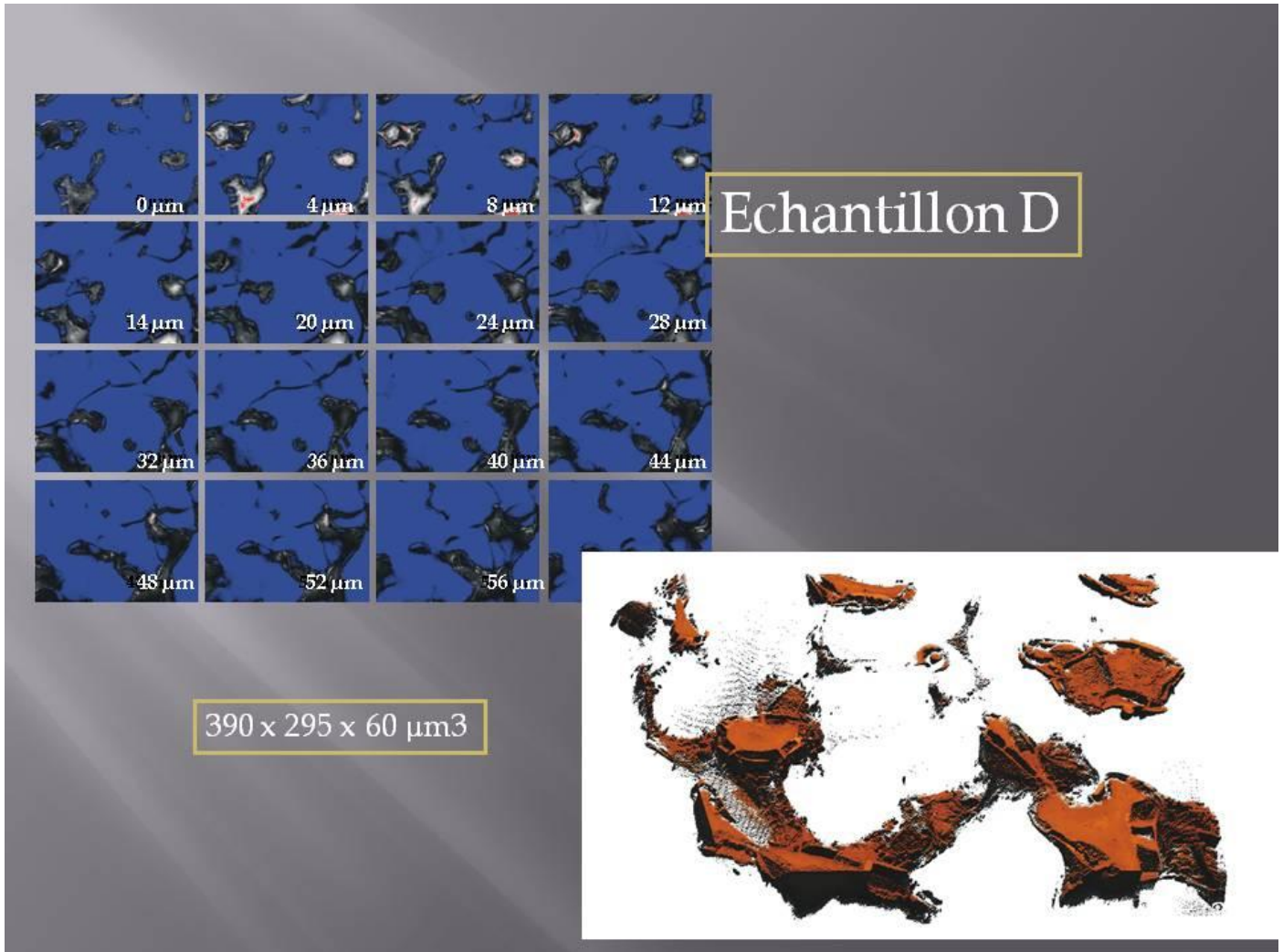
Mok,
Berbabé et
Evans,
2002



Echantillon	Temps de circulation (h)	Porosité à l'eau (Mok et al. 2002)	Nombre d'intersections
A	0	15,7	2 782
B	5	13,6	1 707
C	25	8,5	8 814
D	50	8,1	11 404







Conclusions

la circulation d'un fluide « agressif » produit :

- Dissolution partielle des grains
- Précipitation dans les pores
- Diminution de la taille des pores
- Augmentation de la tortuosité

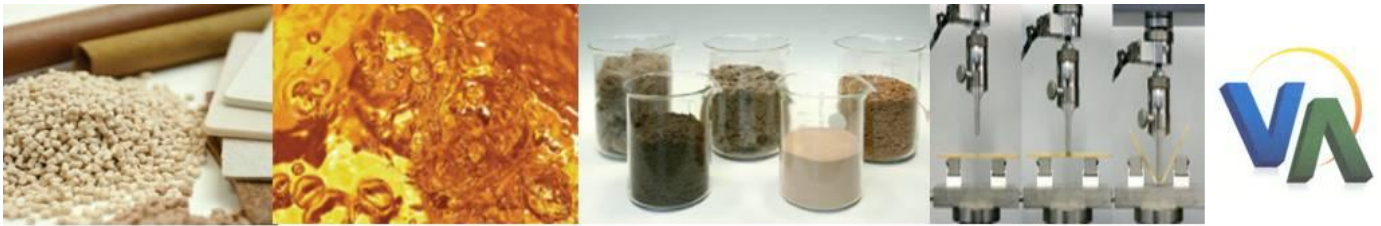


GEC
Laboratoire géosciences et environnement Cergy

Équipe UCP



Merci de votre attention



VALAGRO

LES AGROMATERIAUX EN SUBSTITUTION DES PLASTIQUES PETROCHIMIQUES

C. Dever
Directeur de Recherche Biomatériaux

Cergy-Pontoise, 28/05/10

VALAGRO en bref



- **Centre R&D pour la valorisation industrielle de la biomasse, de ses co-produits et des déchets,**
- **Objectif :** Promouvoir le développement de procédés innovants visant à substituer, à l'échelle industrielle, le carbone fossile par du carbone renouvelable
- **4 domaines d'expertise :**
 - oléochimie,
 - biomatériaux,
 - chimie de la lignocellulose,
 - biotechnologie
- **Effectifs :** 26
- **Halle pilote :** 2,6 millions d'euros d'équipement
- **Portefeuilles brevets :** 31
- **Des compétences internes et un réseau de partenaires** pour accompagner les industriels dans leur projet d'innovation et de création



PRESENTATION



- Les matières plastiques



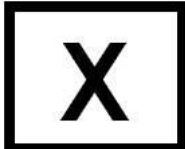
- Définition des agromatériaux



- Réalisations de Valagro



PRESENTATION



- Les matières plastiques



- Définition des agromatériaux



- Réalisations de Valagro



Définition des matériaux plastiques



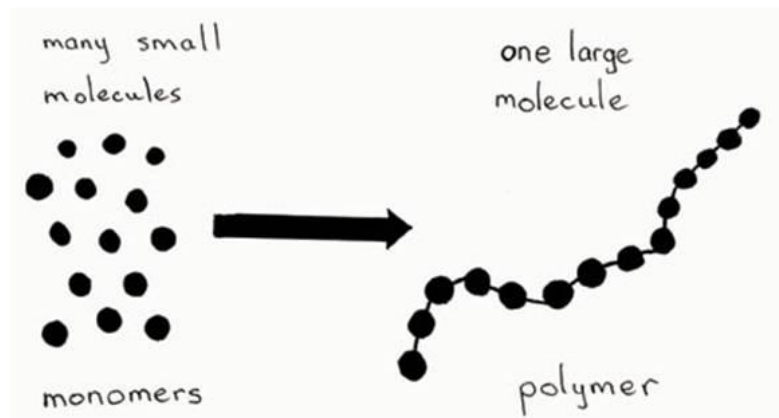
- Matériaux plastiques = plastiques = mélanges contenant un polymère qui est susceptible d'être transformable à chaud et sous pression sous forme d'un objet,
- Marché mondial = 240 millions de tonne/an,
- Applications principales = emballage et bâtiment
- Plastique = assemblage d'un polymère, d'une charge/renfort et d'additifs



Définition des polymères



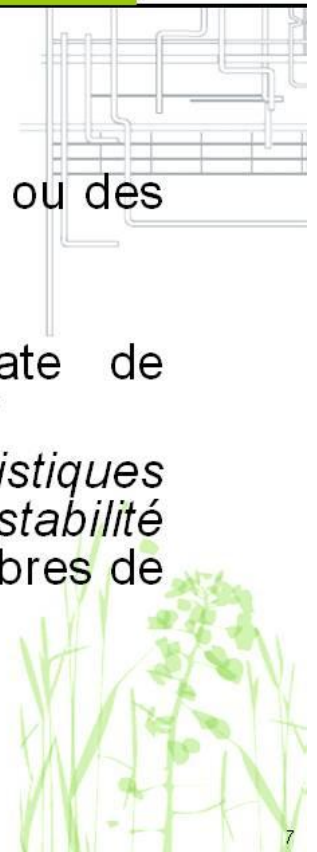
- **Macromolécules** constituées par la **liaison chimique (covalente)** d'une ou plusieurs petites molécules de base appelées **monomères**



Définition d'une charge/renfort



- **Rôles d'une charge =**
 - diminuer le coût de la pièce et/ou
 - améliorer certaines propriétés mécaniques ou des propriétés spécifiques
- **Type de charges =**
 - origine minérale en poudre : carbonate de calcium, silice, talc, ... → *diminution du prix*
 - Renforts fibreux : *améliorer les caractéristiques mécaniques, la tenue thermique et la stabilité dimensionnelle du matériau composite* = fibres de verre, ...



Définition des additifs



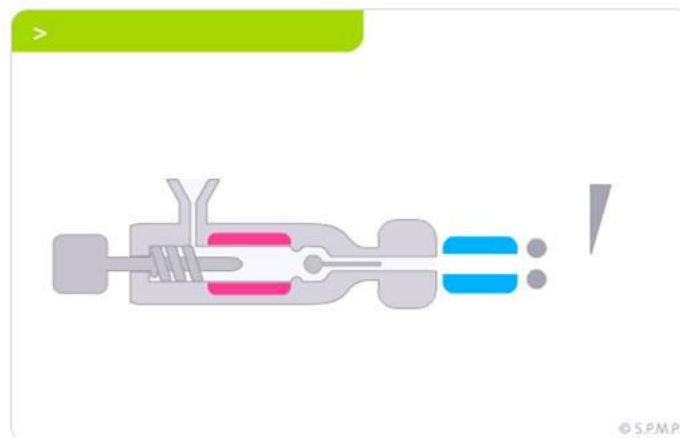
- **Rôle des additifs** : apporter au polymère une propriété spécifique ; généralement incorporés à faible proportion
- **Nature des additifs** :
 - *plastifiants* : pour rendre la résine souple et flexible
 - *systèmes ignifugeants* : améliorer la résistance au feu indispensables chaque fois que la sécurité est en jeu
 - *agents gonflants* : obtenir un produit mousse et diminuer la densité
 - *colorants* : donner une couleur
 - ...



Procédé de formulation

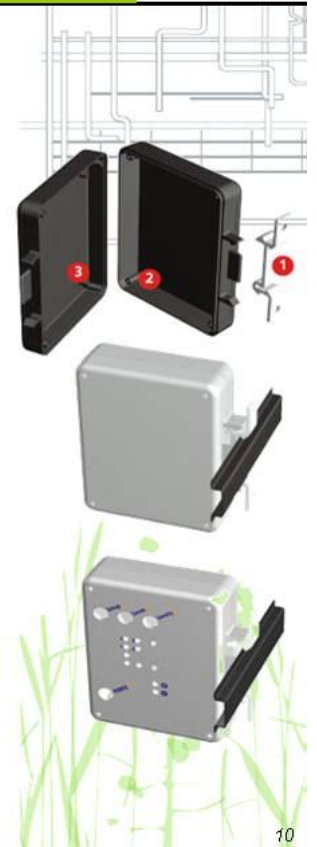
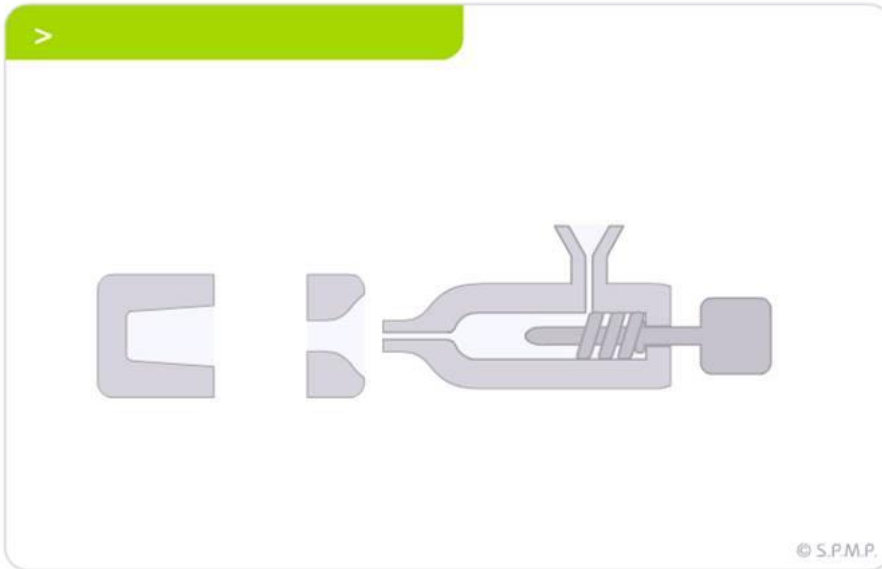


- La formulation Polymères + charges + additifs se fait dans une extrudeuse
- Principe d'une extrudeuse = mélange obtenu de façon mécanique (vis sans fin qui cisaille) et thermique (apport de chaleur afin de fondre les matières)





Exemple de transformation : Injection



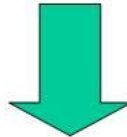
Problématique des plastiques



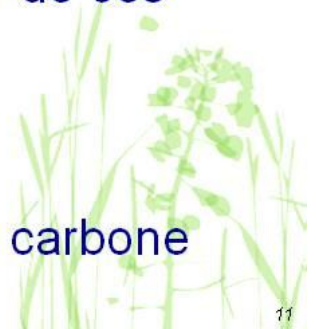
- Marché en forte croissance
- Utilisation sur une période de temps limitée alors que durée de vie très importante du matériau
- Issu exclusivement du pétrole



Il convient donc de s'interroger sur le devenir de ces matériaux après utilisation



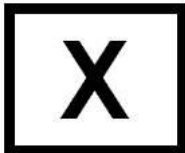
Une solution : intégrer dans ces plastiques du carbone végétal



PRESENTATION



- Les matières plastiques



- Définition des agromatériaux



- Réalisations de Valagro



Définition des agromatériaux

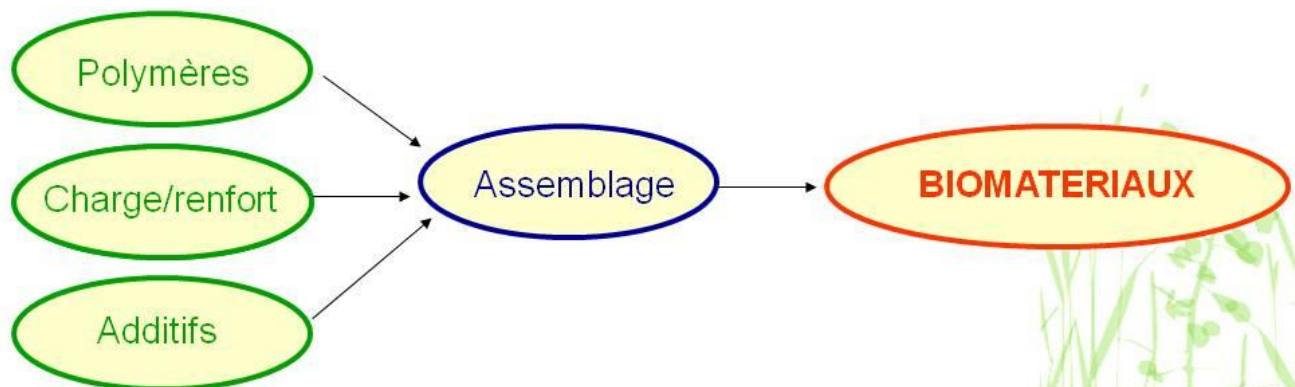


Définition

Les agromatériaux se réfèrent à des matériaux plastiques biosourcés pouvant avoir une fonction de biodégradation

Biodégradable = Dégradation biologique de matériaux par l'action de micro-organismes pour former de l'eau, du CO₂ et une biomasse

Biosourcé = issu de ressources végétales



Déjà au début du XX^{ème} siècle ...



- Résine de gluten de blé renforcée par des fibres d'amiantes (boîtiers de protection du ressort de démarrage, Ford T, 1915).

- Protéines de soja / formol (poignées, levier CDV, bouton klaxon, tableaux de bord, pédale accélérateur, couronnes de distribution, pièces de carrosserie, 1933).



- Celluloïd et galalithe, premiers polymères artificiels (1870 et 1889)

- Largement utilisés au début du XX^{ème} siècle dans la fabrication de boutons, bijoux, stylos, fume-cigarettes, matériel électrique.



L'acide polylactique



- Poly(acide lactique) ou Polylactic Acid (PLA)
- Obtenu par différentes réactions chimiques à partir de l'acide lactique, lui-même issu de fermentation de saccharides
- Production : 200 kt/an
- Prix industriel : 2.5-3.5 € /kg
- Marchés industriels :
 - Emballages (verre jetable transparent),
 - Horticultures

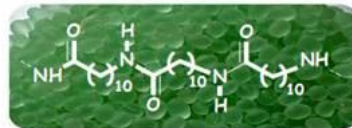
Source: Toyo-eng.com

15

Le polyamide 11 issu du ricin



- Polyamide 11 (Arkema, Rilsan) obtenu à partir d'une huile végétale, l'huile de ricin



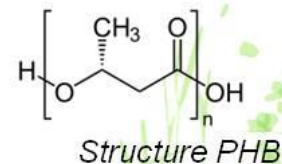
- Intérêt : performances mécaniques élevées et durée de vie
- Production : nd
- Prix industriel : > 10 € /kg
- Applications : automobile, fibres



Les polyhydroxyalcanoates (PHA)



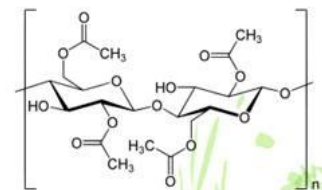
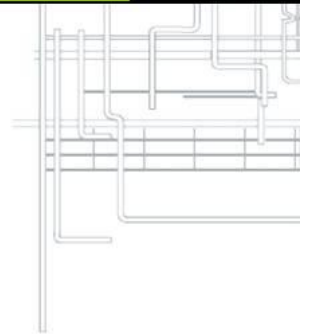
- PHA = obtenus par fermentation bactérienne de sucres ou de lipides,
- Produits par les bactéries et stockés dans leurs organismes comme source de carbone et d'énergie
- Ils peuvent ensuite être extraits des cellules microbiennes pour être utilisés sous forme de granulés
- Production : 30 kT/an
- Prix : 6-10 €/kg
- Applications : emballage, produits résorbables



Les dérivés de la cellulose



- Cellulose = molécule biologique la plus abondante sur Terre
 - Élément constitutif majeur du bois et des fibres végétales (coton, chanvre, lin)
- Acétate de cellulose = ester de cellulose = utilisé comme film photographique ou comme filtres de cigarette
- Cellophane = film transparent alimentaire



Acétate de cellulose



Les mélanges



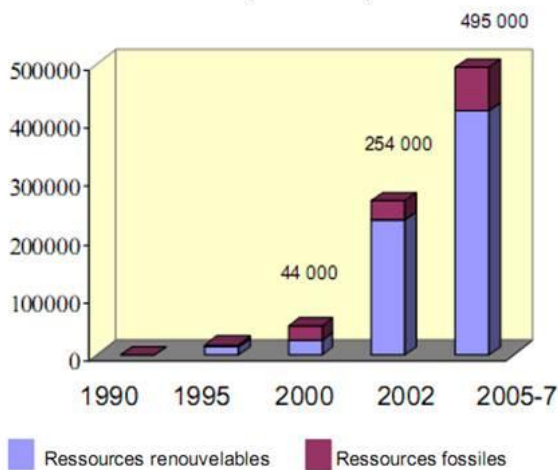
- Possibilité de mélanger les biopolymère entre eux, d'ajouter des fibres de bois broyées ou des colorants ...
- Modification des performances mécaniques et de l'aspect (couleur, transparence ...)
- Exemples de mélange:
 - PLA + farine céréalière (blé, riz, ...),
 - PLA + farine de bois/bambou/chanvre,
 - PLA + pulpe de raisin
 - ...



Marché actuel des agromatériaux



Prévision des capacités de production de
bioplastiques
Monde (en tonnes)



Source : Ademe

- Marché actuel mondial = 500 000 T
- 0.2% du marché mondial des plastiques
- Croissance plus forte que celle des plastiques conventionnels



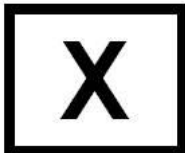
PRESENTATION



- Les matières plastiques



- Définition des agromatériaux



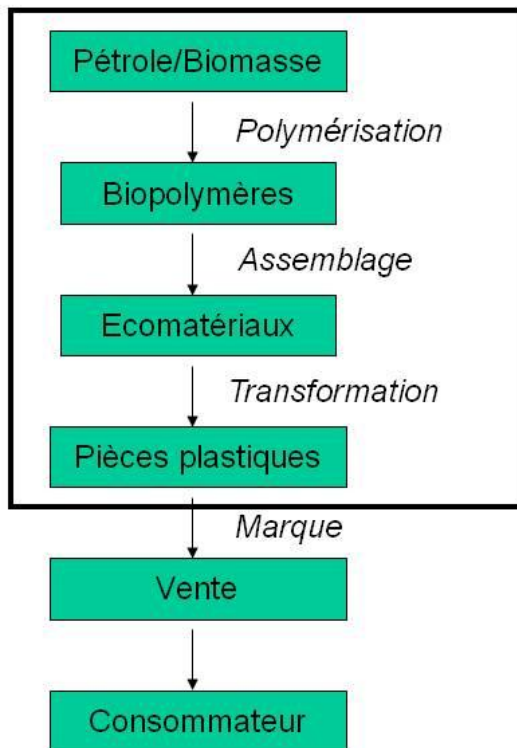
- Réalisations de Valagro



Rôle de l'unité Biomatériaux



La chaîne de valeurs dans la plasturgie



Champ d'action de Valagro

- Formulation de biomatériaux adaptés à une application précise et à une technique de transformation donnée,
- Développement de nouveaux biopolymères ou bioadditifs,
- Valorisation de produits biosourcés (bois « exotiques », déchets industriels ...) comme charge/renforts
- Caractérisations de matériaux (mécaniques, durabilité, rhéologie...).

8 BREVETS + 16 ENVELOPPES SOLEAU

Quelques réalisations 1/3



FUTURAMAT : Société de production et de commercialisation de
granulés de biomatériaux (capacité = 400 t/an)

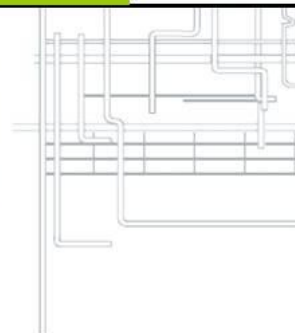


Quelques réalisations 2/3



Unité pilote de production d'esters éthyliques (BIONERGY) par
trituration réactive (procédé VALAGRO) : 15 MT/an

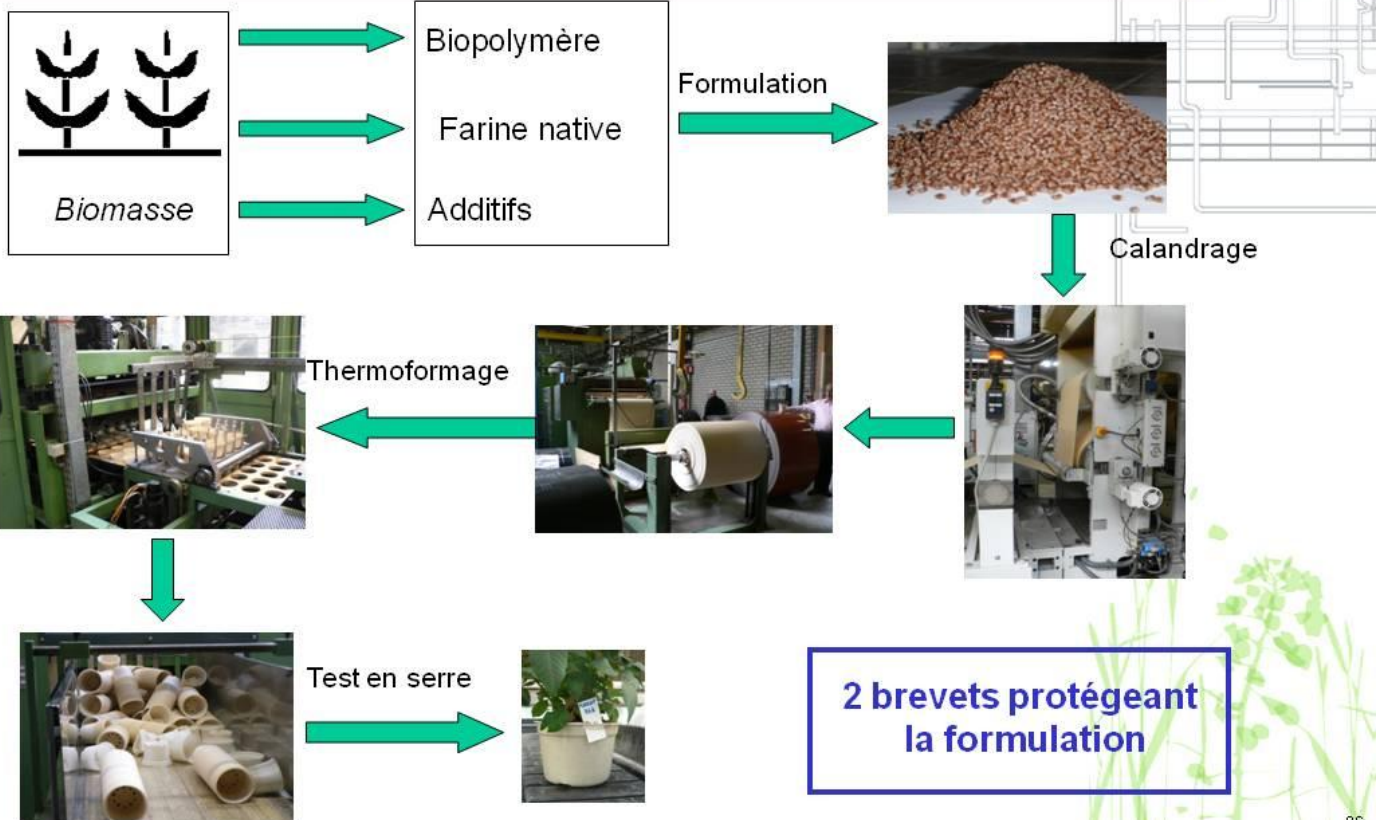
Quelques réalisations 3/3



Unité pilote de production d'éco-carburants 3G issus de
microalgues (SÉCHÉ ENVIRONNEMENT)



Pots horticoles totalement biosourcés



CONCLUSIONS



- Les bioplastiques sont une réalité et peuvent dans certaines applications remplacer parfaitement les plastiques conventionnels
- Contact :

Cédric Dever

Directeur Recherche Agromatériaux

VALAGRO

40, avenue du Recteur Pineau 86022 POITIERS

tel: +33 5 49 45 40 28

Mél : cdever@valagro-rd.com



*Valorisation des microfibres issues du recyclage du
carton dans les BAP.
quels apports ?*

M. MOHAMED¹- G. WARDEH¹- E. GHORBEL¹ - P. GONNON²

Valorisation des sous-produits dans les bétons et les structures du génie civil

L2MGC - Université de Cergy-Pontoise

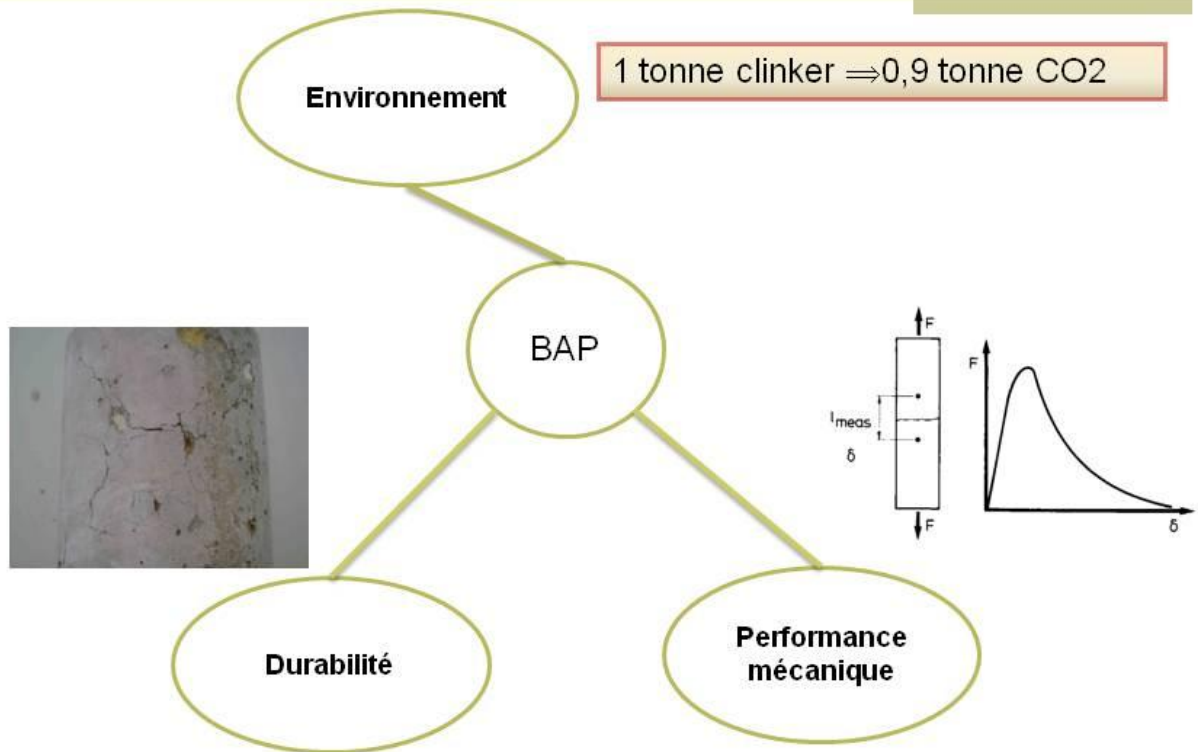
28 mai 2010

¹ L2MGC - Laboratoire de mécanique et matériaux du génie civil

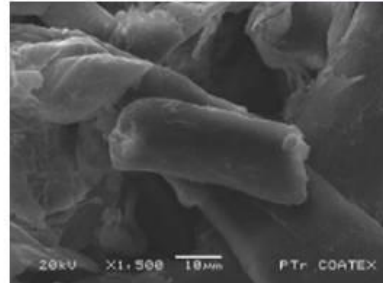
5 mail Gay Lussac. Rue d'Éragny. Neuville sur Oise. 95031 Cergy-Pontoise

² OMYA SAS- 5 Rue de l'Aiguillon, ZI Lyon-Nord, 69730 GENAY

Problématique

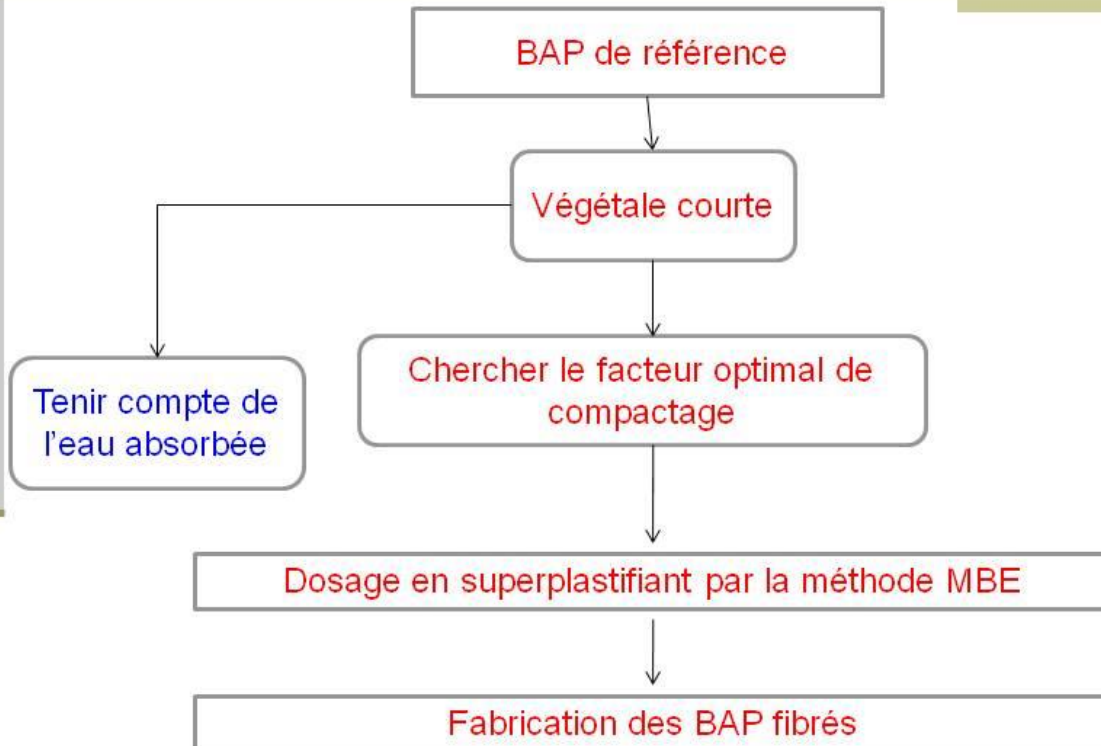


Objectifs

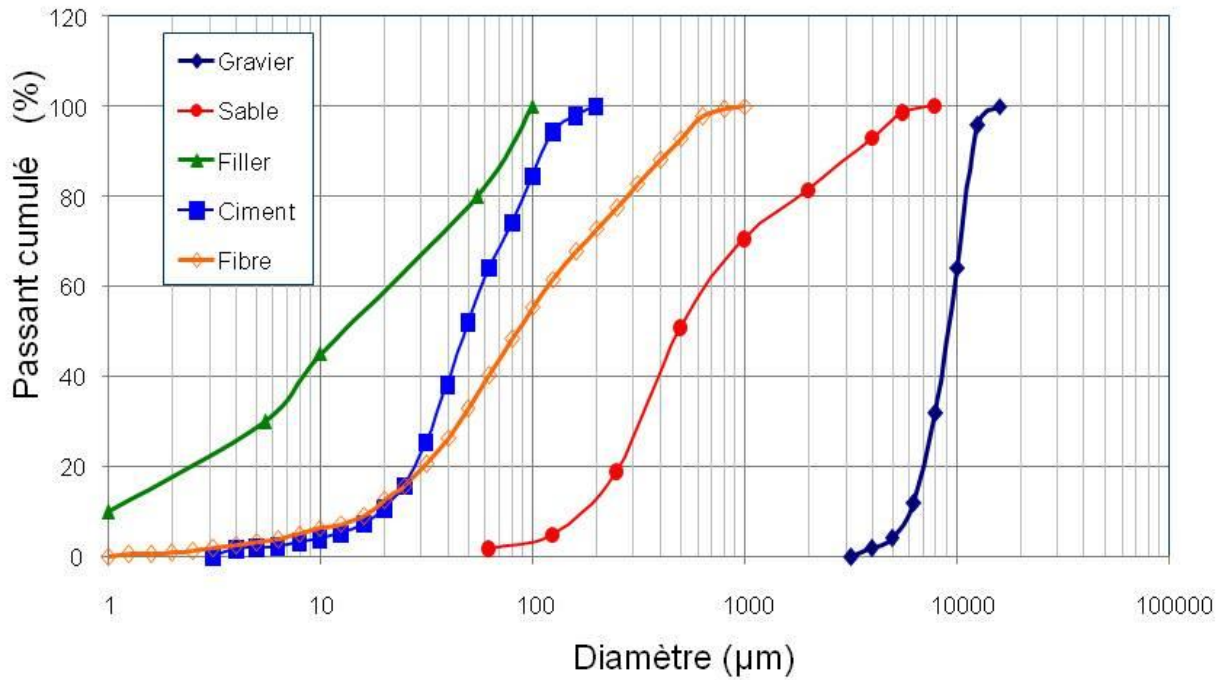


Longueur (mm)	1
Diamètre (mm)	0.05
L/d (Longueur/ Diamètre)	20
Masse volumique (kg/m ³)	30
Résistance à la traction (MPa)	100-500

Formulation des Bétons AutoPlaçants fibrés



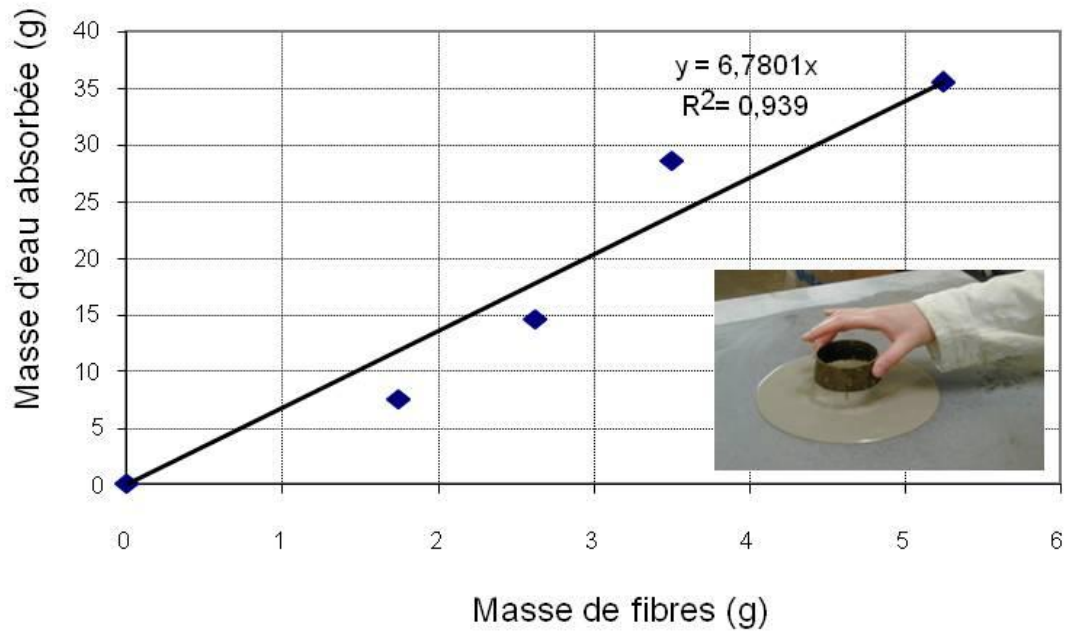
Formulation des Bétons AutoPlaçants fibrés



BAP de référence (EL HILALI 2009)

Constituant Kg/m ³	Ciment	Filler	Gravier	Sable	Eau	Super- Plastifiant (% liant)	E/L	Air %
	350	116	758	948	164	1.35	0.35	1.5

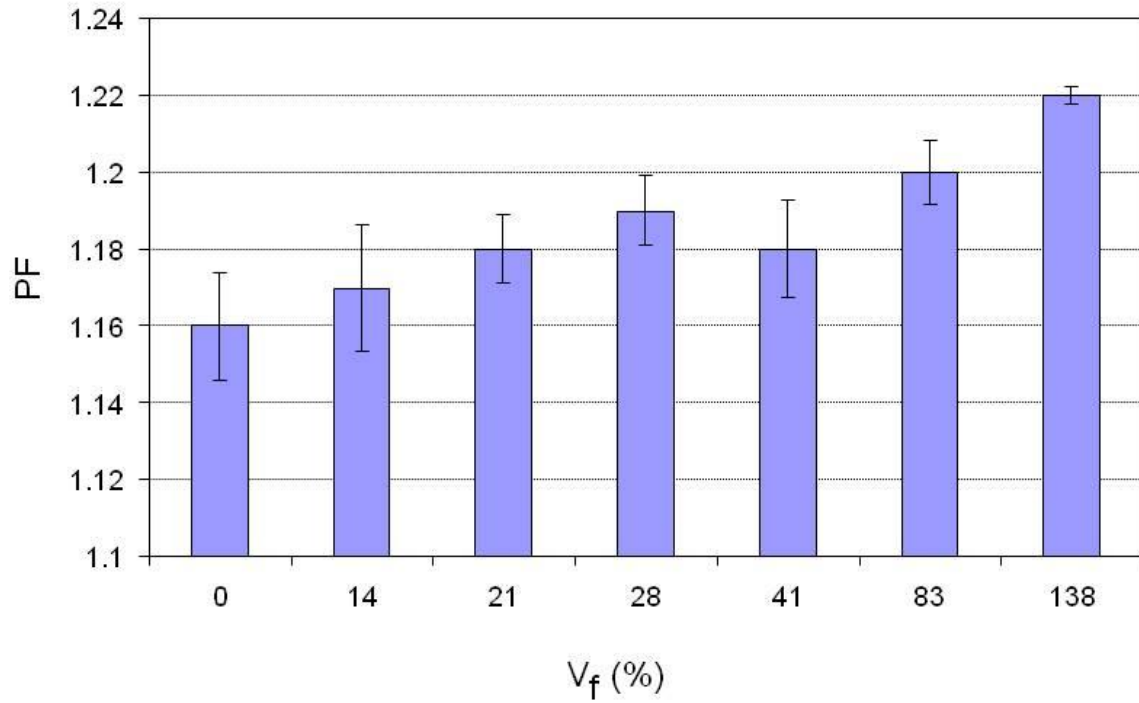
Méthodologie



$$P_F = \frac{\rho_d}{\rho_l}$$

ρ_d : masse volumique apparente après vibration

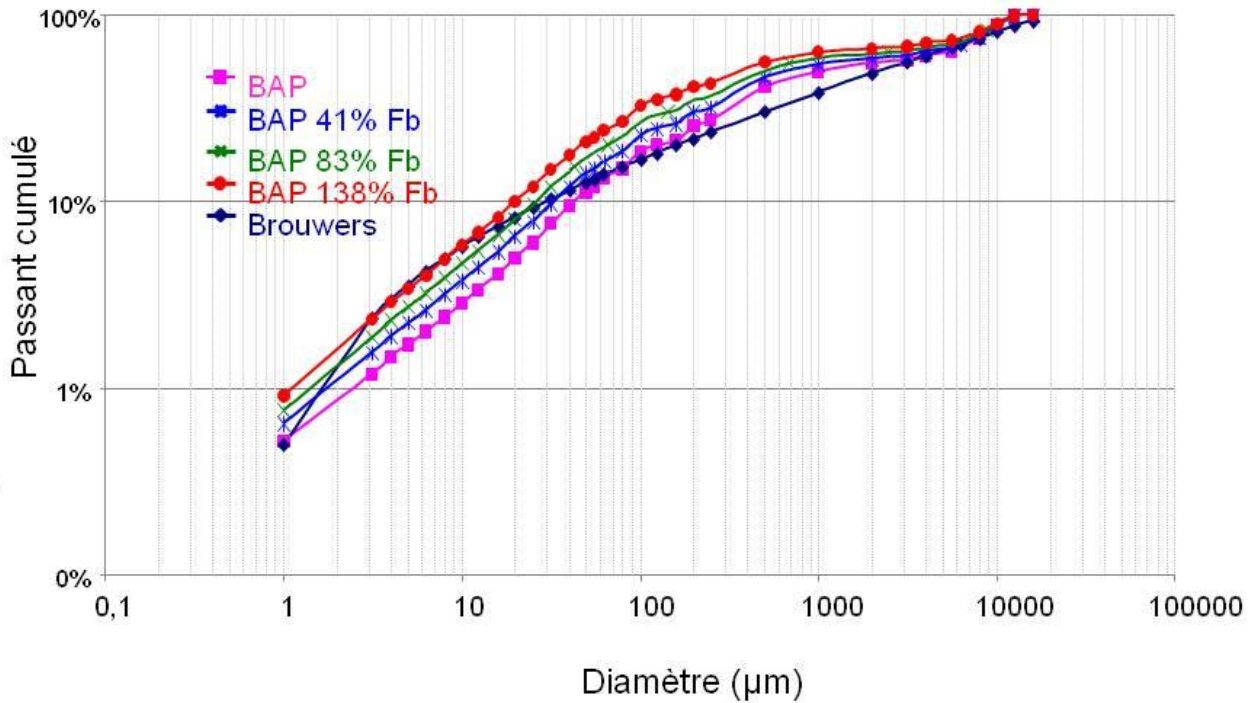
ρ_l : masse volumique apparente avant vibration



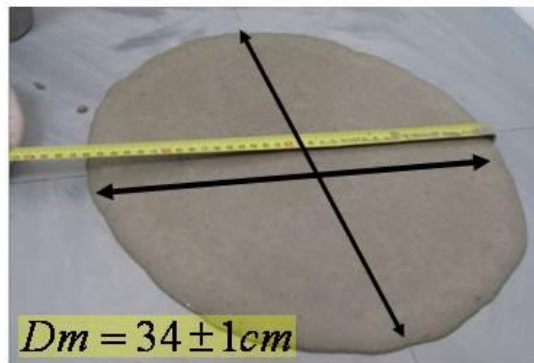
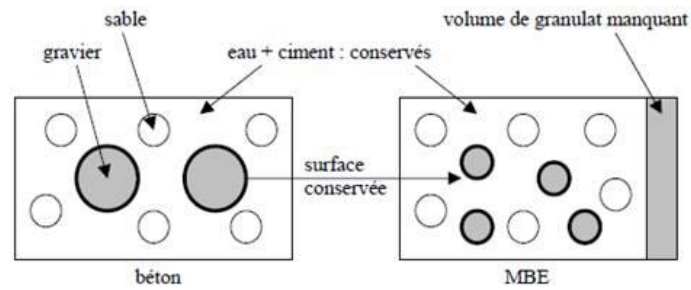
H.J.H. Brouwers, H.J. Radix

$$P_D = \frac{D^q - D_{\min}^q}{D_{\max}^q - D_{\min}^q}$$

$D_{\max} = 16 \text{ mm}$, $D_{\min} = 1 \text{ }\mu\text{m}$, $q = 0.3$



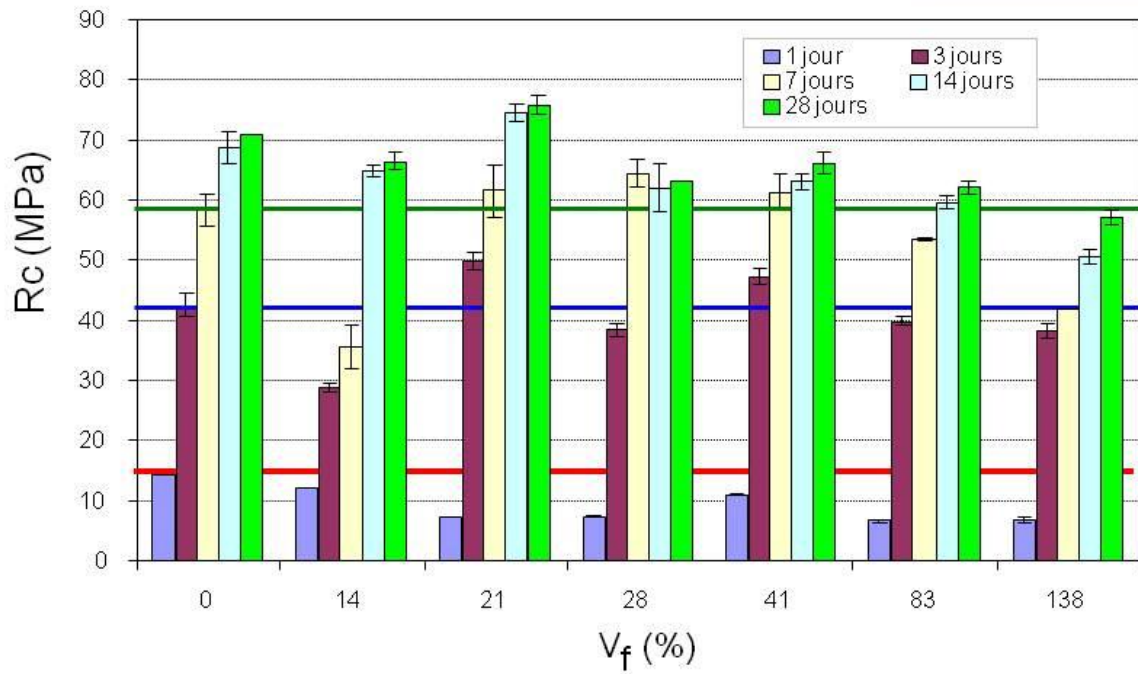
Dosage en superplastifiant par la méthode MBE



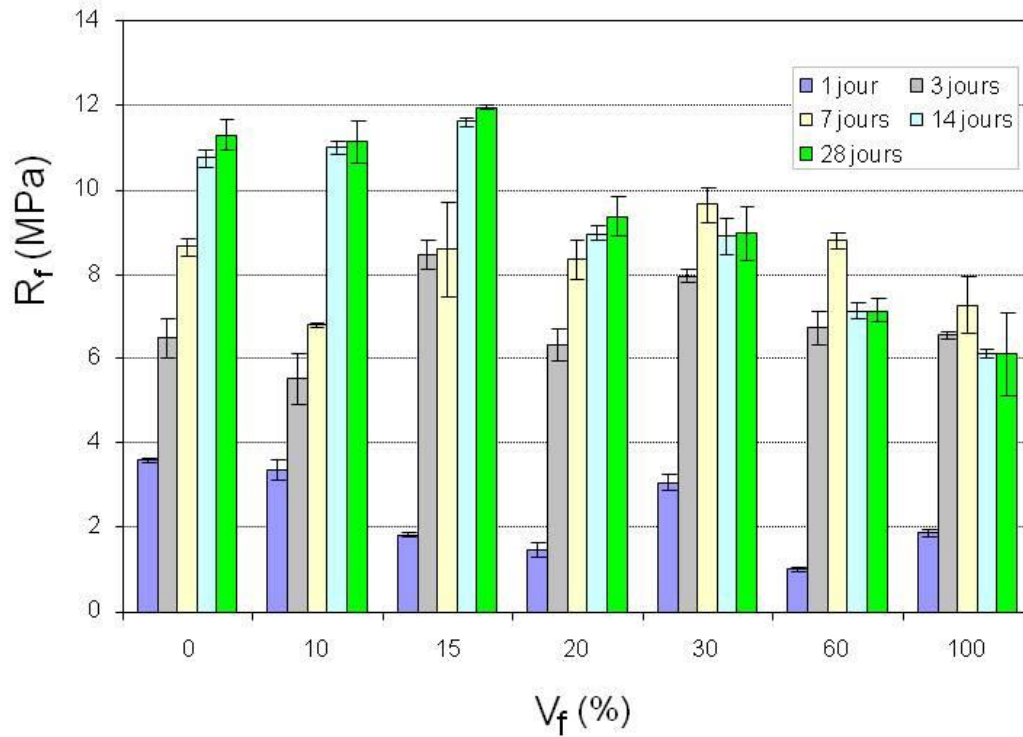
Dosage en superplastifiant par la méthode MBE

	MBE	MBE	MBE	MBE	MBE	MBE	MBE
	0 %	14%	21%	28%	41%	83%	138%
Ciment (Kg/m³)	491	485	482	479	473	456	433
Filler (Kg/m³)	162	176	179	186	195	221	253
Sable (Kg/m³)	1330	1264	1238	1207	1152	987	788
Fibre (Kg/m³)	0	0.65	0.97	1.28	1.90	3.65	5.79
Eau (Kg/m³)	230	232	232	233	234	237	240
Superplastifiant (% liant)	1.35	1.20	1.1	1	0.85	0.85	0.7
Volume de pâte (%)	45	45.3	45.3	45.6	45.9	46.6	47.3
Densité (Kg/m³)	2221	2167	2141	2114	2063	1911	1726

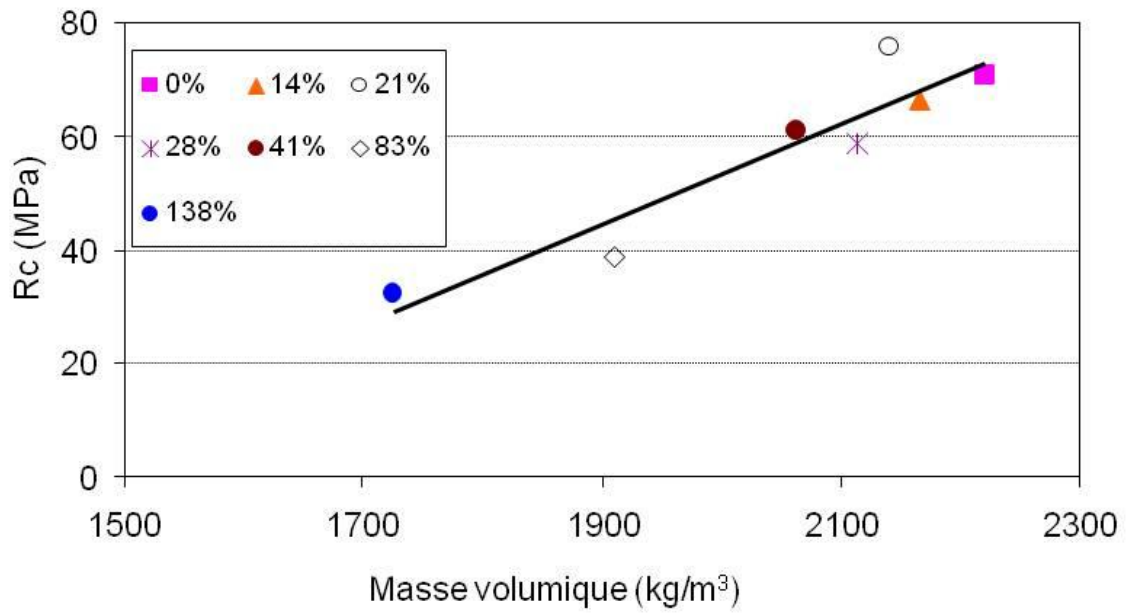
Résistances mécaniques des MBE



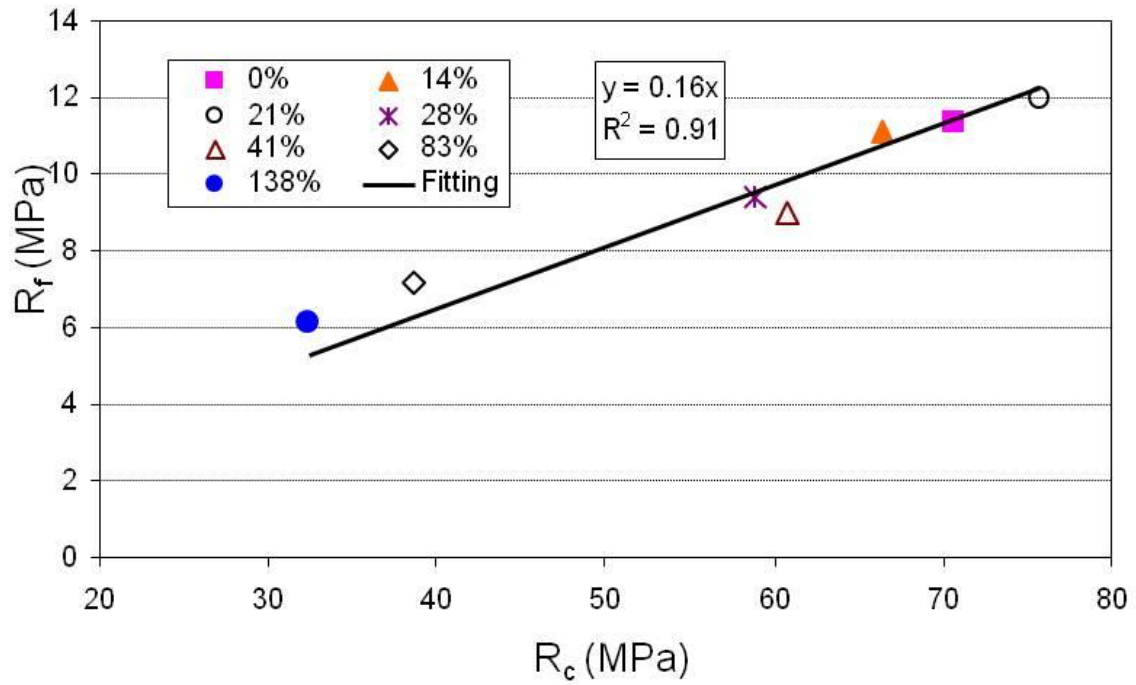
Résistances mécaniques des MBE



Résistances mécaniques des MBE



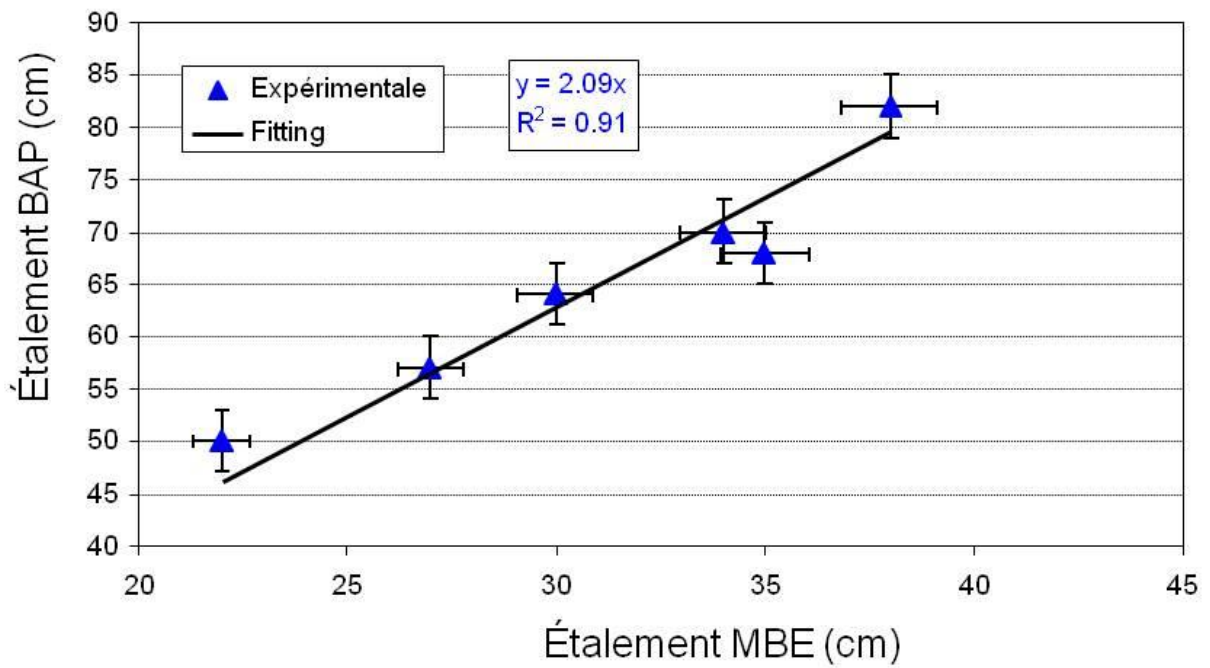
Résistances mécaniques des MBE



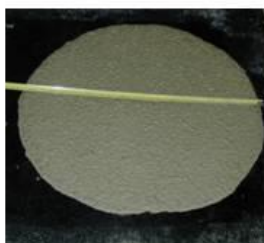
Formulation des BAP fibrés

	BAP	BAP (21%)	BAP (41%)
Ciment (Kg/m ³)	350	350	350
Filler (Kg/m ³)	116	130	144
Sable (Kg/m ³)	948	899	853
Fibre (Kg/m³)	0	0.70	1.40
Gravier (Kg/m ³)	758	729	704
Eau (Kg/m ³)	164	168	173
Superplastifiant (% liant)	1.35	1.1	0.85
Volume de pâte (%)	32.0	33.48	34.37
Masse volumique (kg/m³)	2340	2280	2180

Formulation des BAP fibrés

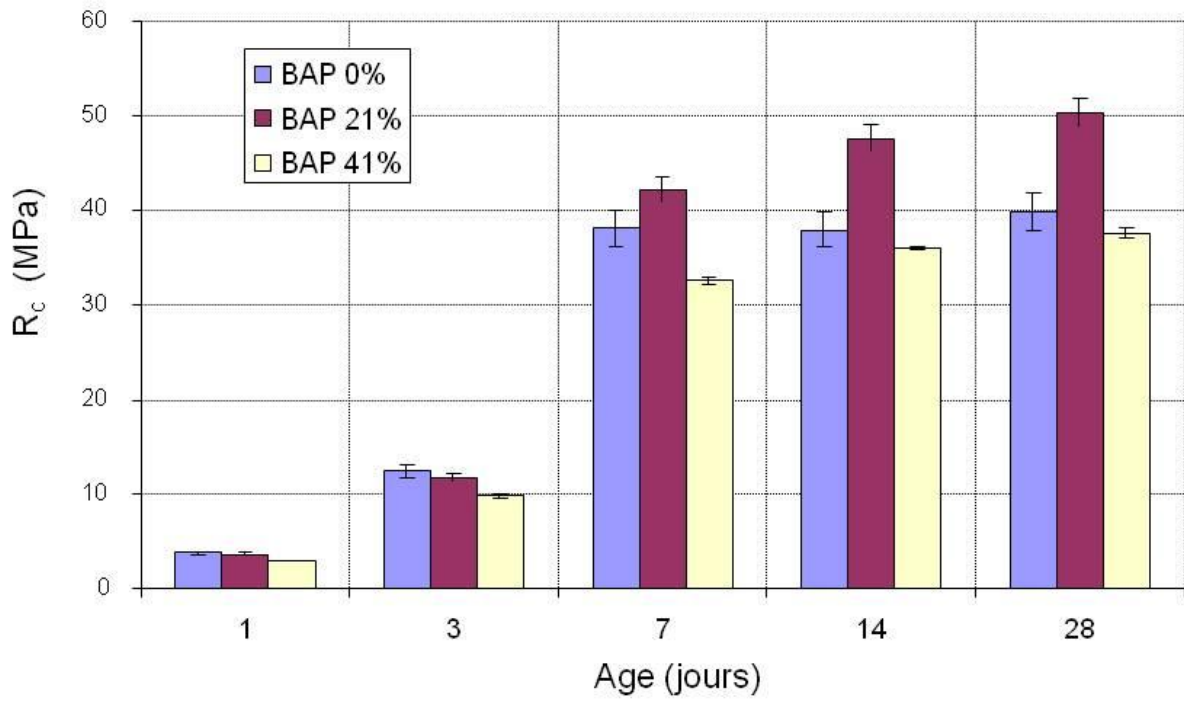


Formulation des BAP fibrés

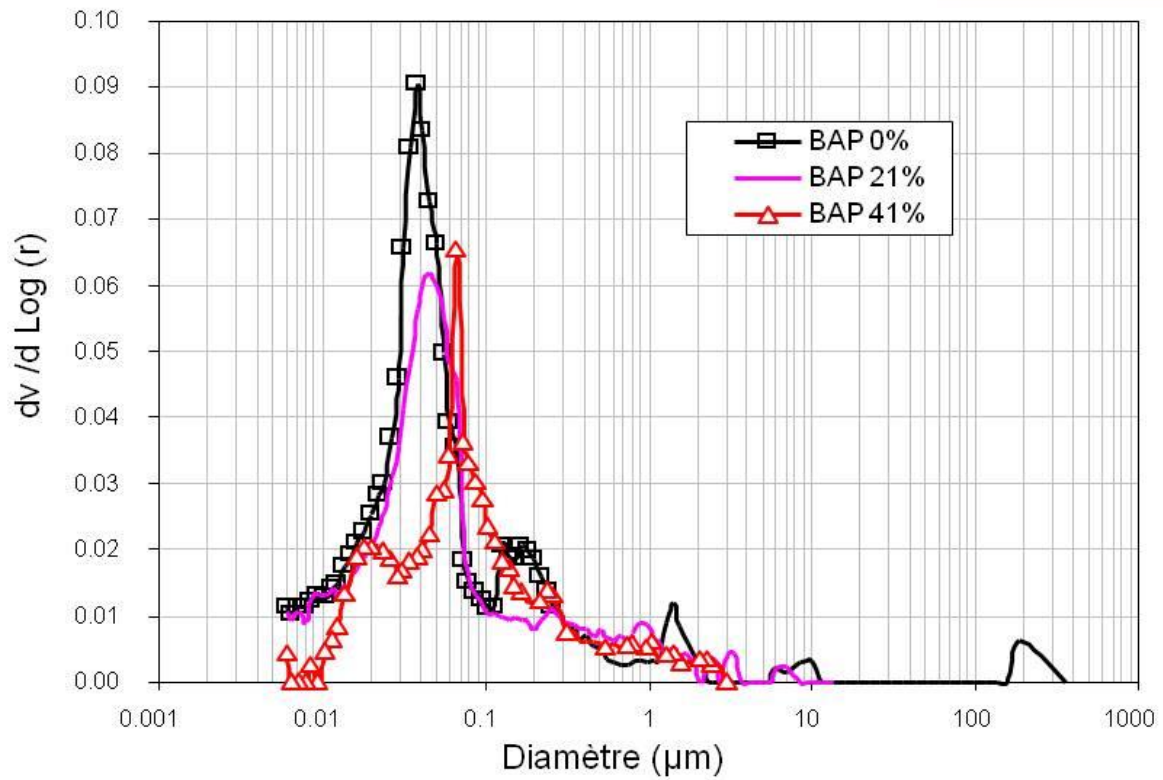


	test d'étalement (cm)	V-Funnel (sec)	L- Box test (cm)	
			h_1	h_2
BAP sans fibre	68±2	11	17	15
BAP 21%	69±2	10	18	16
BAP 41%	69±2	9	17	15

Résistances mécaniques des BAP



Répartition porométrique des BAP



Conclusions

- La méthode MBE a permis d'estimer convenablement les propriétés rhéologiques des BAP fibrés.
- Un dosage volumique de 21% de fibre constitue un optimum.
- A un âge inférieur à 3 jours, la résistance mécanique des mortiers fibrés est inférieure à celle du mortier sans fibres
- Pour un dosage volumique en fibres >41 % les résistances mécaniques diminuent
- L'ajout de fibres conduit à l'obtention de mortiers légers d'une masse volumique entre 1700-2000 kg/m³ et d'une résistance à la compression entre 30-60 MPa pour $28 \leq V_f(\%) \leq 138$
- Le BAP fibré à 21% montre une résistance à la compression supérieure de 25% par rapport au BAP non fibré. Par contre la résistance du BAP fibré à 41% diminue de 5 %.



Granulats recyclés et artificiels

Définitions

Caractéristiques normalisées

Exemples d'utilisation



Raphaël BODET

Chef du Service des affaires techniques de l'UNPG

Sommaire



- Les granulats recyclés : de quoi parle-t-on ?
- Les plateformes de recyclage
- Le référentiel technique
 - Les spécifications usuelles pour les granulats
 - Les guides techniques du SETRA
 - Les exigences environnementales
- Les outils mis à disposition des utilisateurs de matériaux recyclés

De bonnes raisons pour recycler:



- Besoins importants en matériaux pour construire et maintenir
- Préserver les ressources naturelles
- Réduire la mise en décharge
- Sources de matériaux secondaires en périphérie des villes
- Plateformes de recyclage performantes à proximité des zones urbaines et des chantiers
- Le transport se trouve ainsi limité au plus court
- Service rendu aux collectivités locales

Trois gisements de matériaux pour satisfaire les besoins de la construction



Les carrières



Les chantiers du BTP

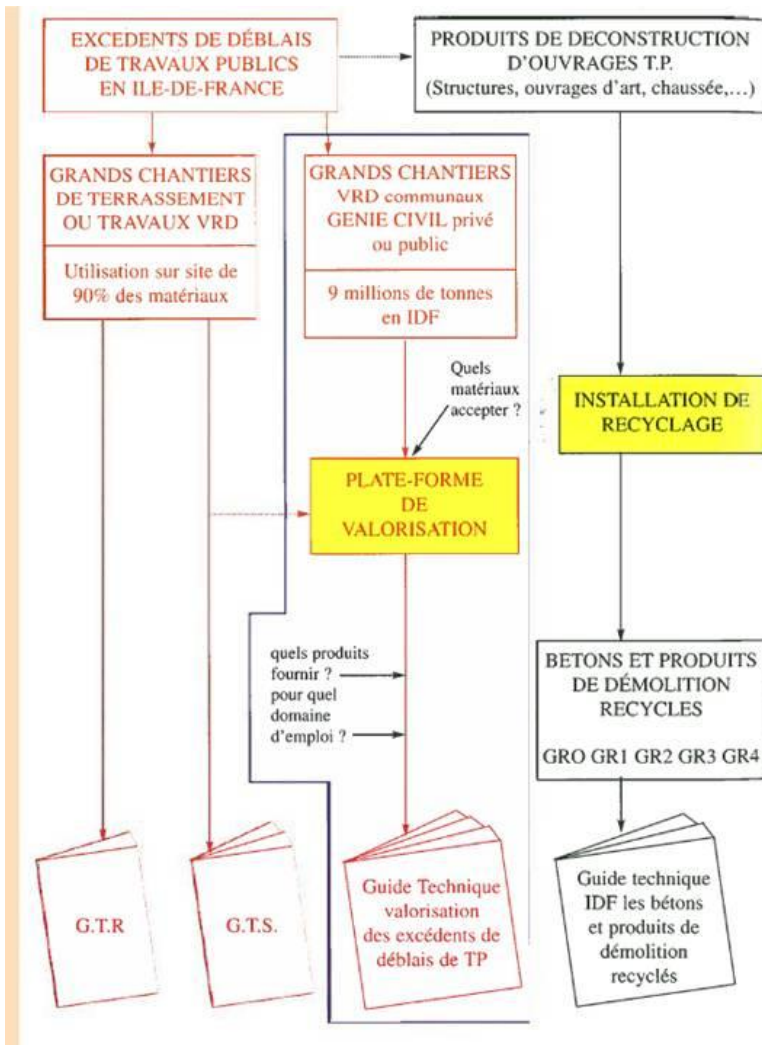


Les activités industrielles



+
Excédents de travaux
de terrassement, de
voirie, de réseaux...

+ autres (sables de
fonderie...)



Les techniques de valorisation

Granulats recyclés, de quoi parle-t-on ?



- Granulats recyclés issus de la démolition des bâtiments



Granulats recyclés, de quoi parle-t-on ?



■ Agrégats
d'enrobés
et
produits de
déconstruction
de routes



Granulats artificiels, de quoi parle-t-on ?



- Granulats artificiels et co-/sous-produits industriels (mâchefers, laitiers..)



Granulats recyclés, de quoi parle-t-on ?



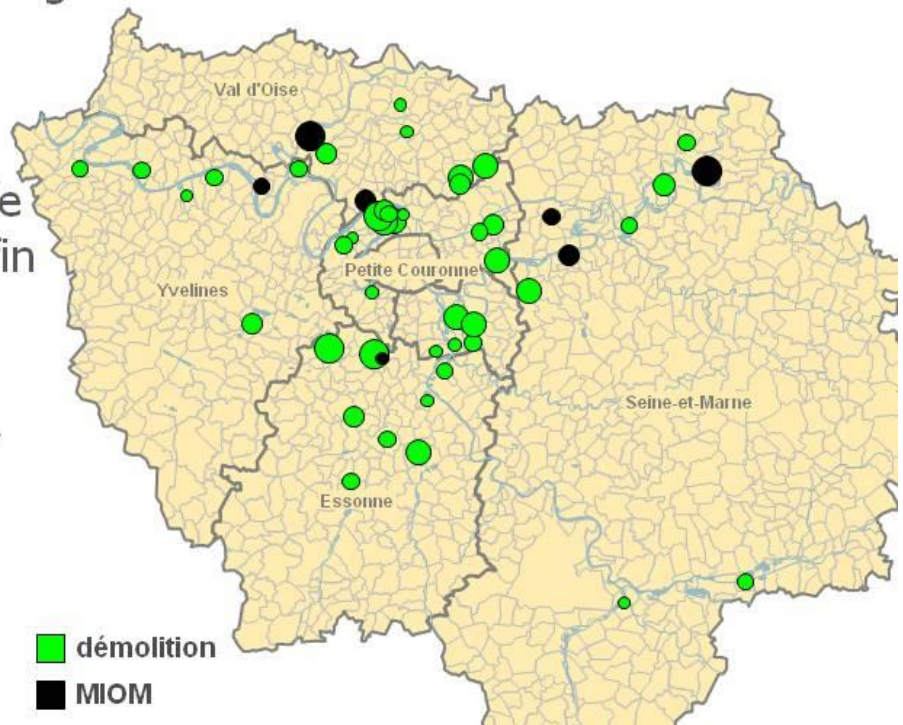
- Ces produits de qualité élaborés sur plateforme de recyclage sont obtenus à partir de gisements identifiés (déconstruction sélective et tri préalable).

Une pratique développée dans les grandes métropoles



■ Ile de France : 5,3 millions de tonnes,
28% de la production régionale

- Près de 30 années de
pratique, initiées à la fin
des années 70
(démolition des
abattoirs de la Villette,
renforcements
coordonnés sur RN)

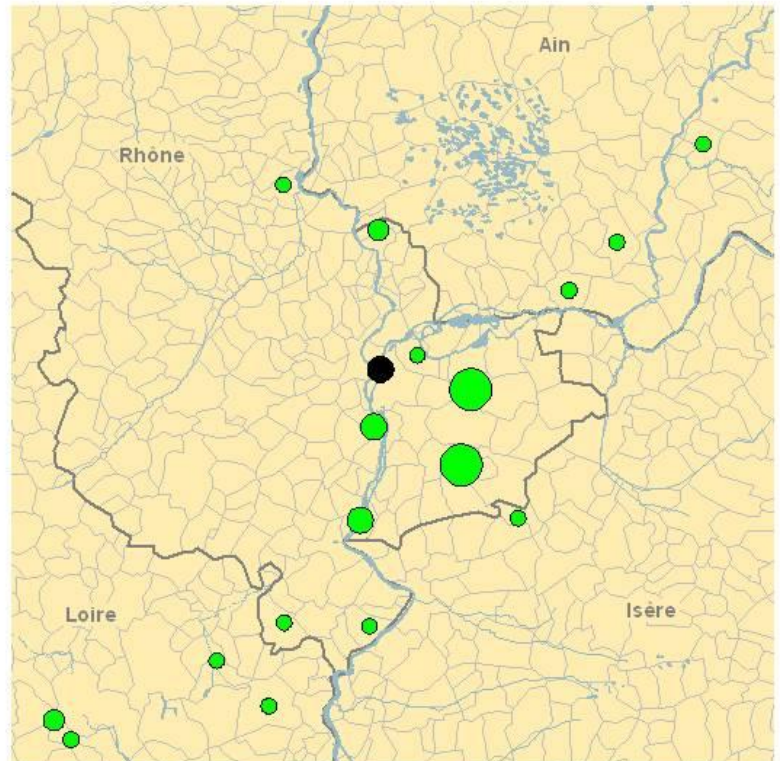


Une pratique développée dans les grandes métropoles

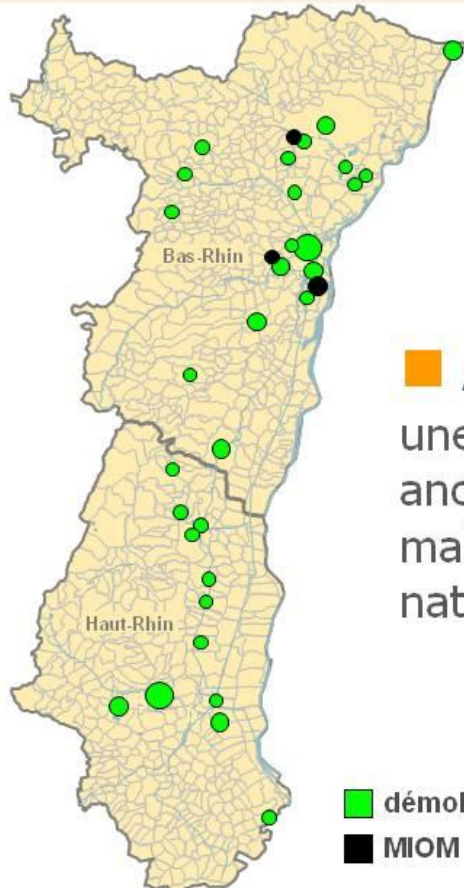


■ Métropole lyonnaise :
1,2 million de tonnes

■ démolition
■ MIOM



Des pratiques locales bien ancrées



■ Alsace – 2,1 Millions de tonnes :
une sensibilité locale forte et
ancienne, un développement
malgré l'abondance des ressources
naturelles

■ démolition
■ MIOM

Emploi de ressources spécifiques



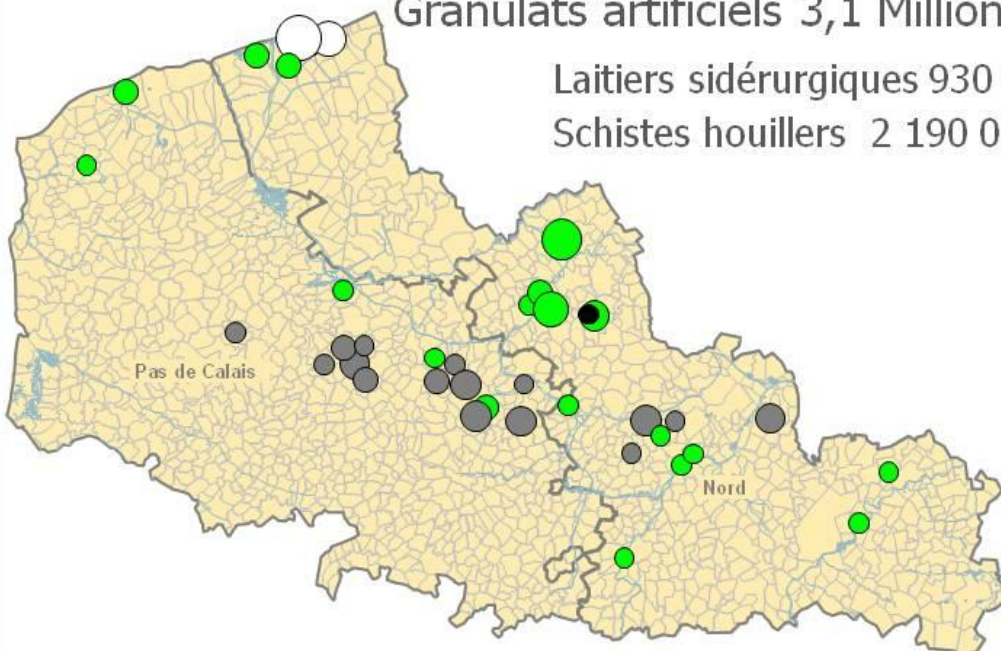
■ Nord – Pas de Calais : 29% de la production régionale

Granulats recyclés 2,3 Millions de tonnes

Granulats artificiels 3,1 Millions de tonnes

Laitiers sidérurgiques 930 000 tonnes

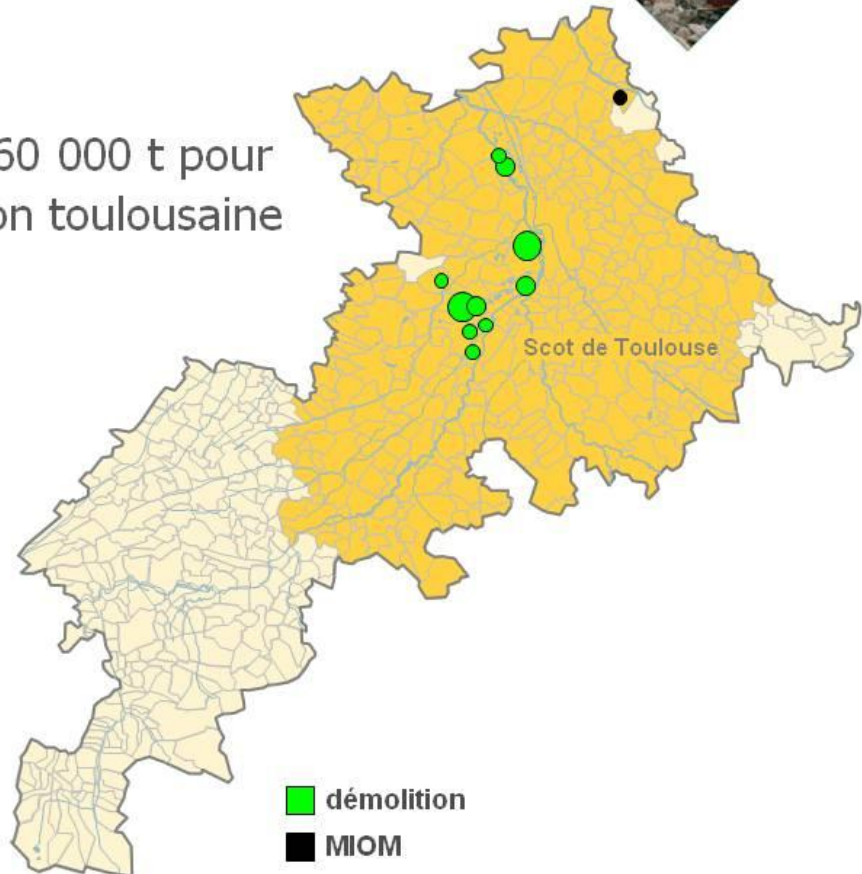
Schistes houillers 2 190 000 tonnes



Une diffusion rapide des pratiques



■ Midi-Pyrénées : 960 000 t pour
la seule agglomération toulousaine



Recyclage, de quoi parle-t-on ?



Ils peuvent aussi être élaborés directement sur chantier ou sur le lieu de réemploi.

Seuls les excédents sont commercialisés

La plus grande partie des excédents de terrassement est valorisée dans des opérations de déblais/remblais



Plateformes de recyclage - objectif



- Elaborer, sous contrôle qualité, des produits normalisés à partir de :

- Enrobés
- Gravats
- Matériaux
traités aux
liants hydrauliques
- Remblais graveleux
- Béton



Plateformes de recyclage - précautions

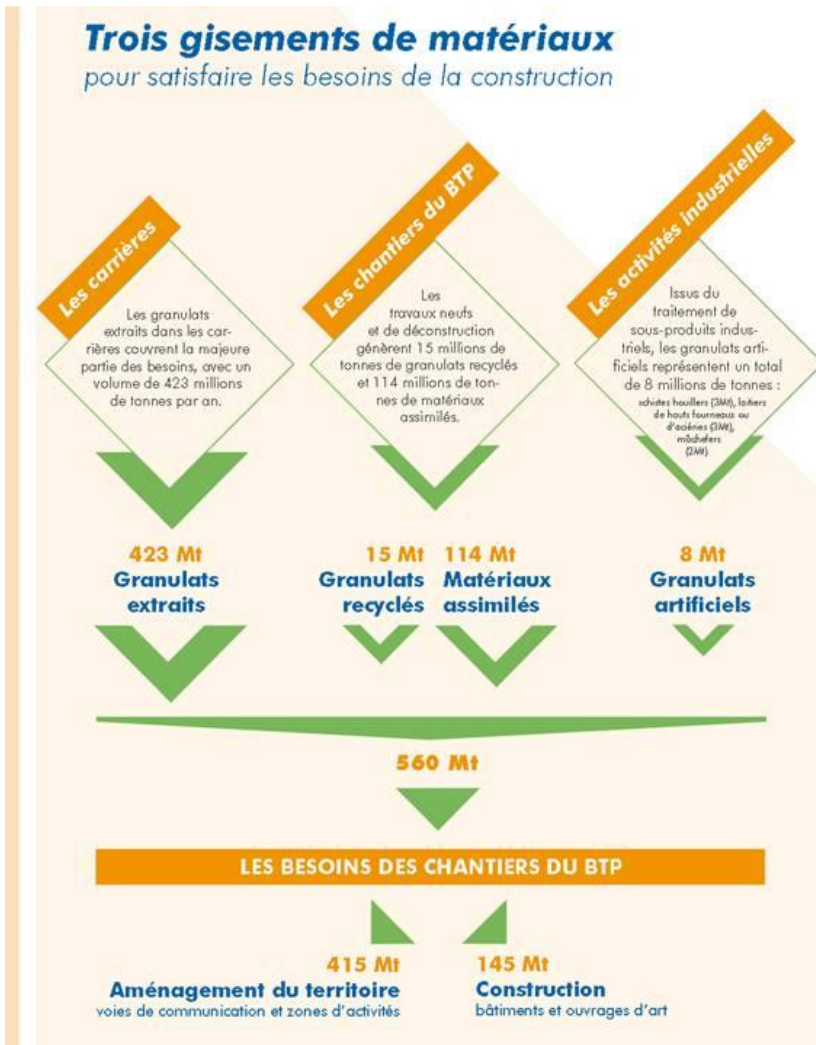


- Le tri des matériaux entrants conditionne la qualité et la valeur des produits sortants.

Matériaux interdits :

- Plâtre,
- Bois,
- Plastique
- Métaux
- Terre végétale,
- Matériaux pollués par
 - l'amiante,
 - le goudron,
 - ...





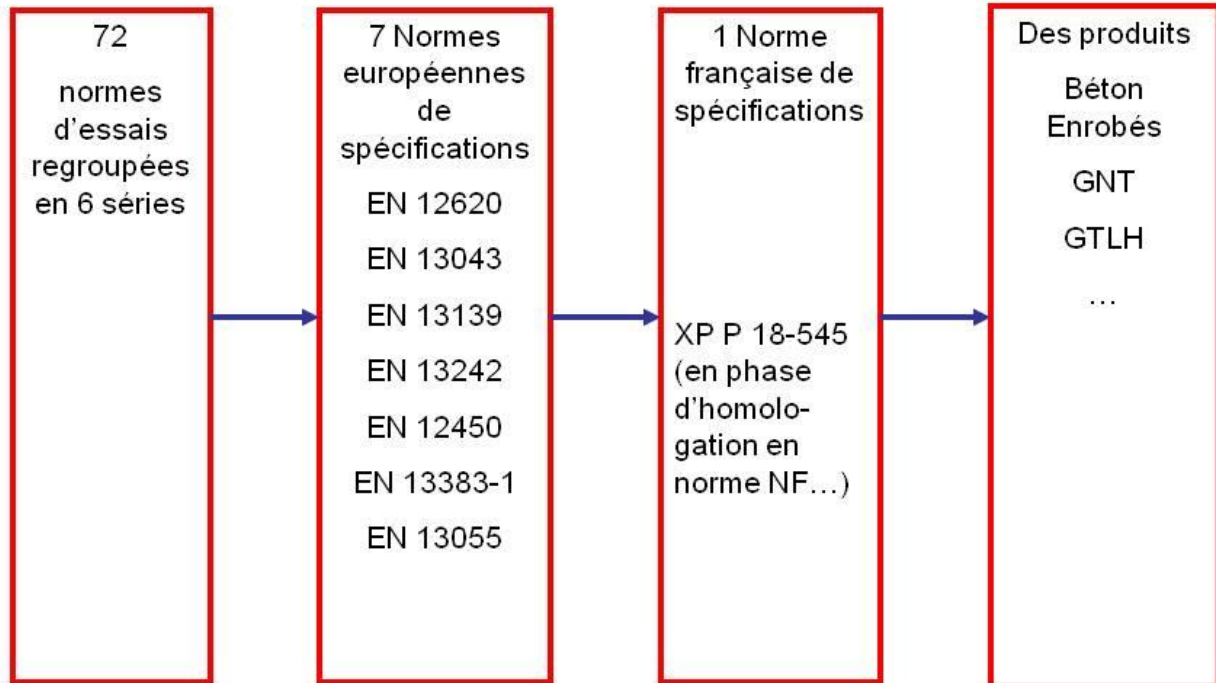
- En 2008, les travaux neufs et la déconstruction de bâtiment, routes et ouvrages d'art ont générés 269 Mt de matériaux inertes, dont 15 Mt de recyclés et 114 Mt de matériaux assimilés

Le référentiel technique



- Normes européennes NF EN 13242, 13043 et 12620
- Norme française XP P18-545
- Fascicule 23 du CCTG
- Note d'information CFTR n° 10 de janvier 2005 :
 - Aide au choix des granulats pour chaussées basée sur les normes européennes
- Note d'information CFTR n° 9 de décembre 2004 :
 - Validation des guides techniques régionaux

Le corpus normatif actuel



Les granulats recyclés et artificiels : déjà pris en compte ?



- Des définitions déjà présentes dans les versions de 2003 des normes européennes :
 - **Granulat recyclé** : granulat résultant de la transformation de matériaux inorganiques antérieurement utilisés dans la construction
 - **Granulat artificiel** : granulat d'origine minérale résultant d'un procédé industriel comprenant des modifications thermiques ou autres

LES DISPOSITIONS DES NORMES APPLICABLES AUX
GRANULATS NATURELS S'APPLIQUENT AUSSI AUX
RECYCLES ET AUX ARTIFICIELS

Les granulats recyclés et artificiels : déjà pris en compte ?



■ Les versions 2008 des normes EN 12620 + A1 et EN 12620 + A1 intègrent des dispositions spécifiques aux recyclés et artificiels :

- EN 1744-1 § 10.2 (sulfates solubles dans l'eau des recyclés) – reprend la norme française XP P 18-581

Spécifiée pour les usages béton et route

- EN 933-11 : classification des recyclés

Spécifiée pour les usages béton et route

- EN 1744-5 : chlorures solubles dans l'acide

Spécifiés pour les usages béton

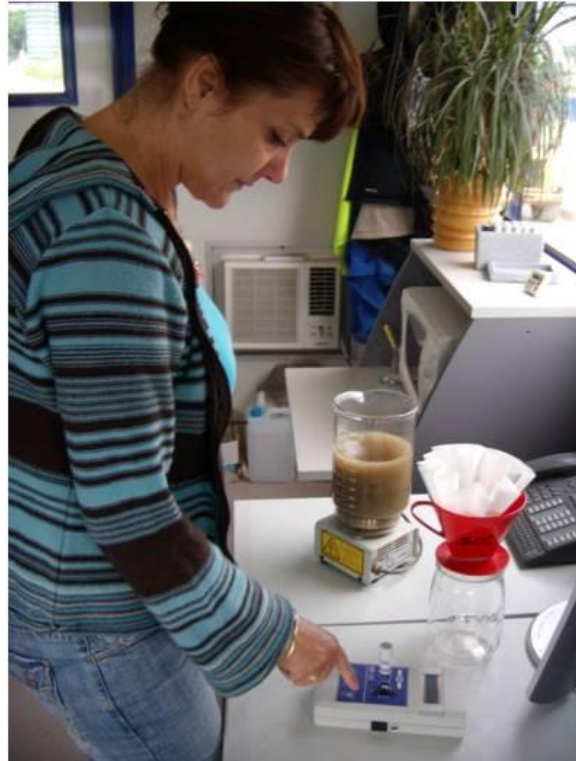
- EN 1744-6 : influence des recyclés sur le temps de prise

Spécifié pour les usages béton

La teneur en sulfates solubles dans l'eau (EN 1744-1 § 10.2) : issue d'un essai français



- La détermination de la teneur en sulfates solubles dans l'eau est utilisée pour les usages routiers et béton. Elle permet de conclure à la présence ou non d'une contamination par le plâtre.
- Elle est inspirée de la norme XP P 18-581



La détermination des flottants (EN 933-11) : un préalable à l'utilisation béton



- La détermination d'un volume maximal de particules flottantes est nécessaire pour éviter les problèmes de remontée de ces particules en surface du béton





DES NIVEAUX DE SPECIFICATIONS (actuelles ou à venir) dans XP P 18-545

XP P 18-545 : Classification des constituants



Article 7 (GNT et GTLH principalement)	Constituants principaux	Constituants secondaires
	$R_{cug} 70$ ou $R_{cug} 90$ ou $R_a 80$	Rg 2 ; Rg 5 X1 FL5

Définition : c : béton; u : granulats non liés; g : verre; X : indésirable (argiles, sols, métaux ferreux et non ferreux, bois, plastiques et caoutchouc non flottants, plâtre); FL : flottant; a : enrobés

Article 10	Code	Constituants principaux	Constituants secondaires
	A	$R_{cu} 95$	Rb 10- ; XRg0,5- ; FL0,2- ; Ra1-
	B	$R_{cu} 90$	Rb 10- ; XRg0,5- ; FL0,2- ; Ra5-
	C	$R_{cu} 90$	Rb 10- ; XRg0,5- ; FL2- ; Ra10-
	D	$R_{cu} 80$	Rb 10- ; XRg1- ; FL2- ; Ra10-

XP P 18-545 :

Sulfates solubles dans l'eau des recyclés



Article 7 : **Granulats pour assise de chaussée**

Code	Limites spécifiées
SSa	<0.2
SSb	<0.7
SSc	<1.3

Article 9 : **Granulats pour chaussées en béton**

Sulfates solubles dans l'eau des recyclés : ≤ 0.2

Article 10 : **Granulats pour béton hydraulique**

Sulfates solubles dans l'eau des recyclés : ≤ 0.2

Chlorures solubles dans l'acide des recyclés : à déclarer

Constituants réduisant le temps de prise : A10, A40, Adéclaré

XP P 18-545 :

Sulfates et chlorures solubles dans l'acide des recyclés



Article 9 : Granulats pour chaussées en béton

La teneur en sulfates solubles dans l'acide n'est déterminée que si la teneur en S total est supérieure à 0.08 %, dans ce cas : $AS_{0.2}$: Vss 0.2 (1 pour les laitiers de haut fourneaux refroidis par air). Elle n'est pas déterminée sur les granulats recyclés. La teneur en n'est pas déterminée sur les granulats recyclés.

Chlorures solubles dans l'eau : par pour recyclés

Chlorures solubles dans l'acide des recyclés : **à déclarer**

Article 10 : Granulats pour béton hydraulique

La teneur en sulfates solubles dans l'acide n'est déterminée que si la teneur en soufre total est supérieure à 0.08% ; elle n'est pas déterminée sur les granulats recyclés.

Code	Catégorie EN		Teneur exprimée en SO_3	
	Granulats	Laitiers	Granulats	Laitiers
SAa et SAe	$AS_{0.2}$		Vss 0.2	
SAc	$AS_{0.2}$	AS_1	Vss 0.2	Vss 1
SAd	$AS_{0.8}$	<i>AS déclarée</i>	Vss 0.8	Vss déclarée

Chlorures solubles dans l'acide des recyclés : **à déclarer**

XP P 18-545 : Constituants réduisant le temps de prise



Article 9 : **Granulats pour chaussées en béton**

Constituants réduisant le temps de prise : **A10, A40, Adéclaré**

Article 10 : **Granulats pour béton hydraulique**

Constituants réduisant le temps de prise : **A10, A40, Adéclaré**

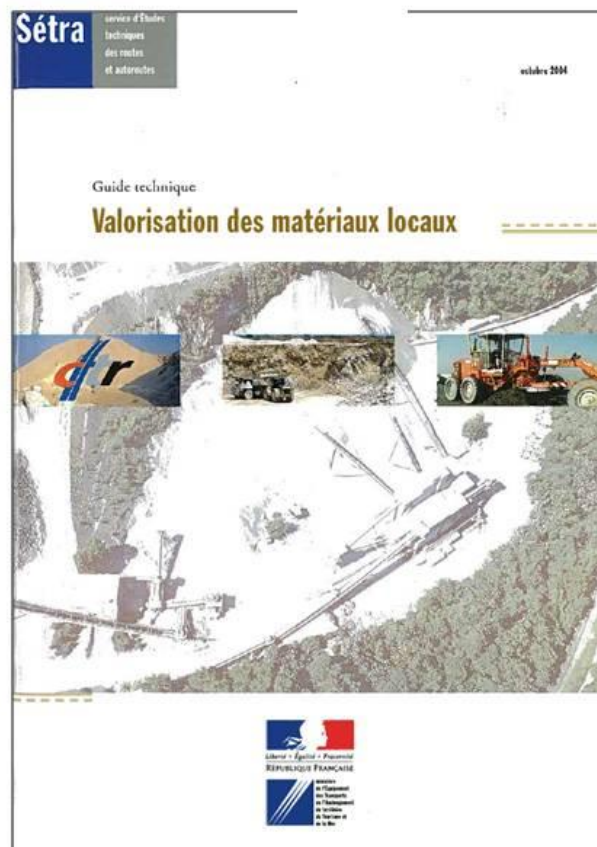
Une normalisation toujours en marche : les substances dangereuses



- Un mandat transversal : M366
- Un futur marquage CE intégrant les substances dangereuses (sur la base des réglementations existantes)
- Une prochaine génération de normes européennes intégrant ces aspects pour les granulats naturels, recyclés et artificiels (tous seront traités selon les mêmes procédures)

Substance dangereuse : substance dont l'émission dans l'eau, l'air ou le sol est réglementée dans au moins un pays européen

Valorisation des matériaux locaux Guide technique du SETRA



Les guides techniques régionaux

Contexte et enjeux



- Valoriser des ressources alternatives mal connues peu utilisées, mais disponibles localement
- Pallier l'épuisement de certaines ressources traditionnelles
- Assurer la continuité des approvisionnements
- Diminuer l'impact et le coût des transports
- Préserver l'environnement
- Favoriser l'économie locale

Démarche préconisée par le CFTR

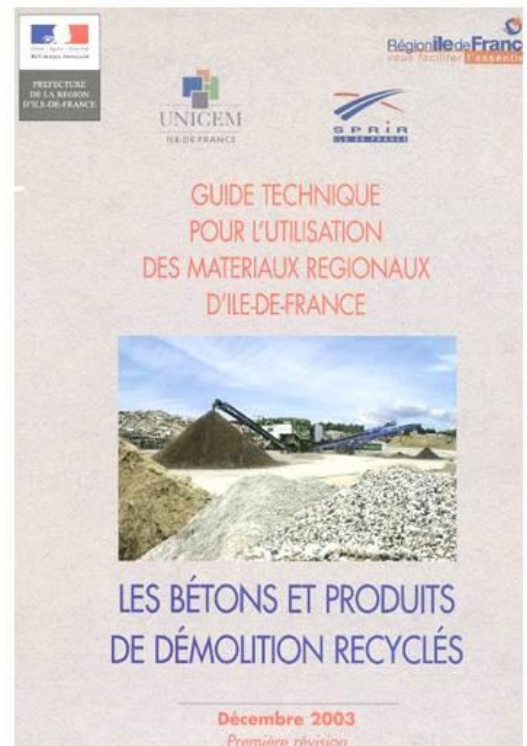


- Identifier une ressource alternative :
 - détecter le facteur de risque
 - évaluer le risque à partir d'expérimentations in situ contrôlées et suivies
- Caractériser les granulats produits et garantir leur régularité
- Définir leurs domaines d'utilisation
- Développer des techniques d'emploi adaptées
- Diffuser l'information sous forme de guide technique régional

LE GUIDE TECHNIQUE REGIONAL du CFTR Matériaux de démolition recyclés



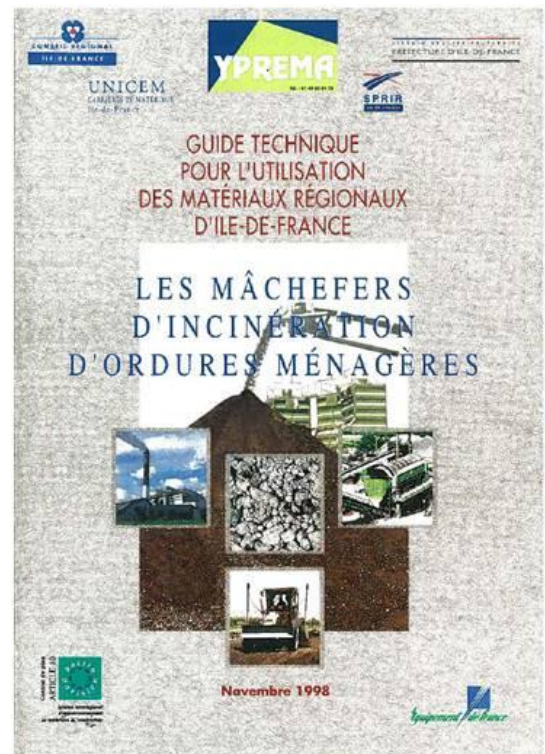
- Provenance et collecte sélective
- Elaboration et production
- Utilisations possibles et conditions d'emploi
 - Les graves...
 - Les sables et gravillons
 - Spécifications de mise en œuvre
 - Précautions particulières d'emploi
- Démarche qualité
- Perspectives d'évolution
- Références d'emploi



LE GUIDE TECHNIQUE REGIONAL du CFTR Mâchefers d'incinération d'ordures ménagères



- Mâchefers en Ile-de-France
- Installations de maturation et d'élaboration des mâchefers
- Caractérisation géotechnique des mâchefers
- Utilisations possibles et conditions d'emploi
 - Utilisation en remblais
 - Utilisation en couches de forme
 - Utilisation en assises de chaussées
 - Evolution de la technique
- Maîtrise de la qualité
- Exemples d'emploi en Ile-de-France



Les guides techniques régionaux du CFTR validés

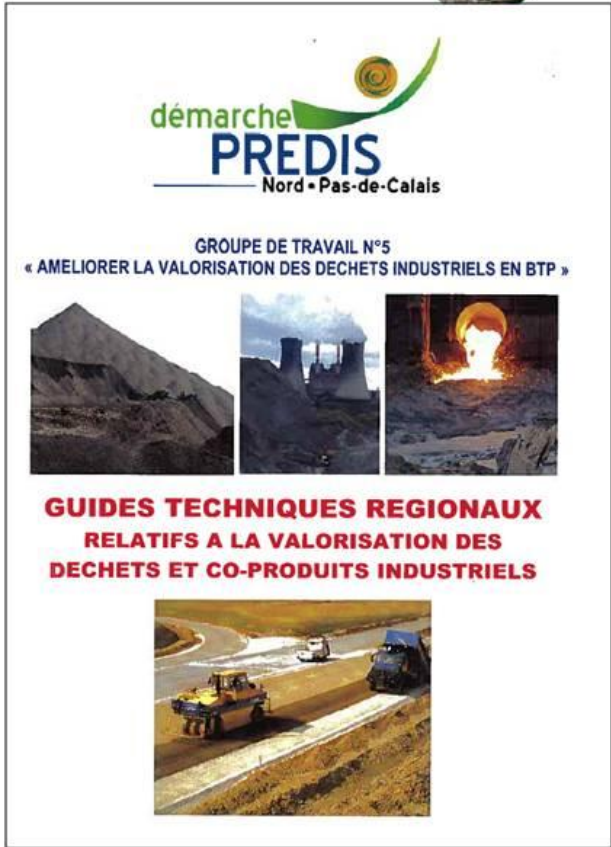


- ILE-DE-FRANCE :
 - Les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères (1998)
 - Les bétons et produits de démolition recyclés (2003)
 - Valorisation des excédents de déblais de travaux publics (2003)
 - Catalogue des structures de chaussées (2003)
- RHONE-ALPES :
 - Les graves de recyclage – recyclage + MIOM (2004)
- LORRAINE :
 - Les cendres volantes (2009)
 - Les matériaux de démolition recyclés (2009)
 - Les schistes houillers (2009)
 - Les laitiers (2009)

Autres guides techniques




- Guides techniques PREDIS Nord-Pas de Calais




démarche
PREDIS
Nord • Pas-de-Calais

GRUPE DE TRAVAIL N°5
« AMELIORER LA VALORISATION DES DECHETS INDUSTRIELS EN BTP »



**GUIDES TECHNIQUES REGIONAUX
RELATIFS A LA VALORISATION DES
DECHETS ET CO-PRODUITS INDUSTRIELS**



L'utilisation des matériaux recyclés



■ UTILISATION ROUTES / VRD

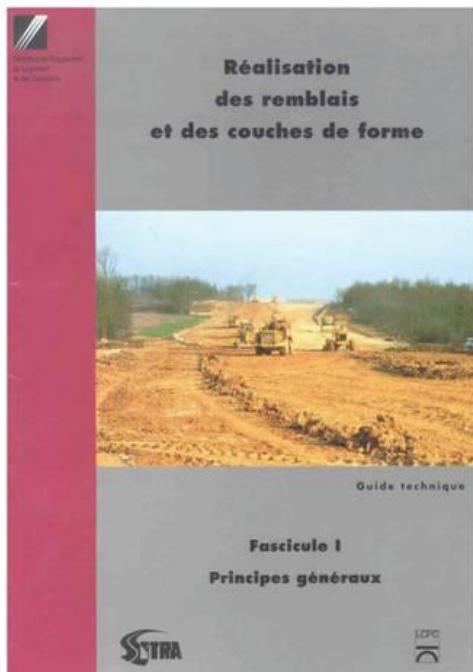
Couche de roulement



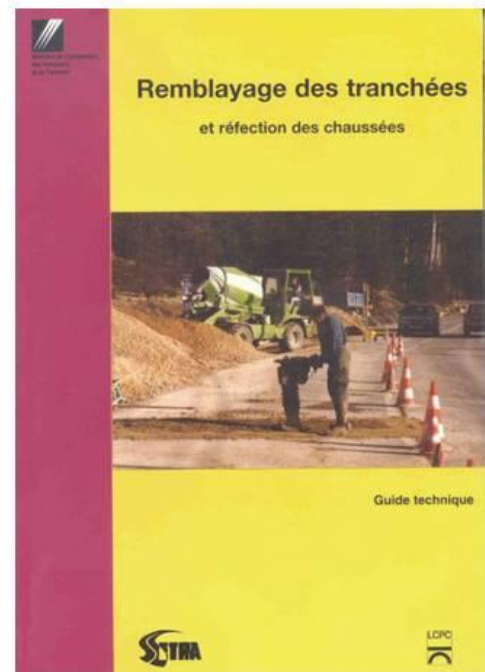
L'utilisation des matériaux recyclés



GTR « Guide Technique pour la
Réalisation des Remblais et
Couches de Forme » (NF P 11-300)



Guide Technique de «
Remblayage des tranchées »
et réfection des chaussées »



Et demain ?



- Contextes normatif et réglementaire (exigences environnementales) élargis
 - NF P 18-545, EN 206-1, ...
 - Marquage CE sur la partie environnementale des normes
- Nécessité d'une meilleure traçabilité (mise à jour des FTP...),
- Bilans qualitatif et quantitatif plus précis par opération, réflexions sur éco-bilan
- Ouverture à d'autres techniques :
 - thèse LCPC en cours sur le recyclage du "béton pour faire du béton"
 - Projet National sur le recyclage complet des bétons

41

Exigences environnementales



- Spécifications environnementales sont nécessaires au développement de l'utilisation des matériaux locaux recyclés et artificiels
- Les matériaux recyclés et artificiels doivent être suivis sur le plan environnemental, les méthodes et fréquences varient en fonction de l'origine des matériaux
- L'aspect environnemental est traité dans le guide régional, il synthétise de manière opérationnelle les caractéristiques applicables et les domaines d'emploi autorisés. Aucune dérogation locale.

Pratiques environnementales



■ Pays Bas: Règlement sur la Qualité des Sols

- Impose des essais de lixiviation sur les recyclés comme sur les granulats naturels

Component	Gem.	Min	Max	Gem.	Min	Max
antimony	0,014	0,0090	0,014	0,012	0,0042	0,014
arsenic	0,18	0,17	0,20	0,14	0,0098	0,18
barium	3,3	0,27	9,3	0,10	0,035	0,26
cadmium	0,0082	0,0035	0,070	0,0029	0,00071	0,0035
chromium	0,041	0,010	0,093	0,038	0,035	0,049
cobalt	0,037	0,035	0,070	0,031	0,015	0,035
copper	0,15	0,035	0,40	0,030	0,0098	0,035
mercury	0,0013	0,0010	0,0050	0,00088	0,0002	0,0011
lead	0,089	0,070	0,30	0,061	0,025	0,070
molybdenum	0,058	0,017	0,79	0,100	0,0049	0,30
nickel	0,061	0,035	0,20	0,033	0,025	0,035
selenium	0,014	0,0090	0,014	0,012	0,0042	0,014
tin	0,090	0,020	0,14	0,033	0,0098	0,053
vanadium	0,086	0,070	0,30	0,068	0,060	0,070
zinc	0,47	0,14	4,5	0,12	0,025	0,14
fluoride	3,8	0,26	13	6,4	0,66	16
chloride	140	28	800	6,3	1,40	11
sulphate	139	25	1.800	109	6,7	220
bromide	0,43	0,32	0,80	0,36	0,35	0,41

Recyclés de béton Granulats naturels



Pratiques environnementales



- **France: Projet de guide méthodologique**
 - Impose des essais de lixiviation sur les recyclés destinés aux sous-couches routières et remblais revêtus

Granulats recyclés et artificiels : applications les plus fréquentes



- Grave traitée aux liants hydrauliques,
- Grave Non Traitée,
- d/D pour tranchées drainantes,
- Agrégats dans les enrobés

Les outils de la profession à disposition de nos clients



■ Plaquette UNPG, SNED « Démolition Traitement Valorisation »

SÉLECTION DES PRODUITS DE DÉMOLITION

BÂTIMENT & OUVRAGE D'ART OU DE GÉNIE CIVIL		VOIRIE
 <p>DALLAGE MINCE Béton propre épaisseur inférieure à 20 cm, faiblement ferrillé</p>	 <p>TUILLES / BRIQUES</p>	 <p>PLANCHER BÉTON sans produit collé</p>
 <p>MATÉRIAUX NATURELS Meulons calcaires / pierres maçonnées</p>	 <p>PARPAINGS</p>	 <p>CANALISATIONS (diamètre inférieur ou égal à 600 mm)</p>
 <p>DALLAGE ÉPAIS Béton propre épaisseur supérieure ou égale à 20 cm, ferrillé</p>	 <p>POTEAUX / POUTRES / LONGRINES Y compris longueur supérieure à 1 m</p>	 <p>BORDURES DE TROTTOIR PRODUITS DE VOIRIE EN BÉTON</p>
 <p>PLÂTRE</p>	<p>Sont également refusés :</p>  <p>PLASTIQUE, BOIS, AMIANTE ET AMIANTE LIÉ, MATÉRIAUX ISOLANTS (polystyrène, laine de roche, etc.), COMPLEXE D'ÉTANCHEITÉ ET TOUT PRODUIT NON INERTE.</p>	 <p>DÉLAIS INERTES</p>

▶ produits acceptés
 ▶ produits acceptés sur site équipé de matériels de pré traitement
 ▶ produits refusés

Traitement et valorisation des produits de démolition en granulats recyclés

Les étapes

Sélection des produits
sur chantier
(voir page précédente)

Traitement
(Broyage, triage,
triage magnétique, ...)

Valorisation
(Circuit asphalté, etc.)

Domaines d'emploi

GRANULATS RECYCLÉS

ASSISE DE CHAUSSEE	SABLE ET GRAVELLES				
	Sable et gravelles conformes à la norme granulat 0/25 de SNF	Craie concassée et gravats de béton concassés sans liant hydraulique			
COUCHE DE FOND	Capacité*	80 000	12 000	20 000	20 000
	Epaisseur	1,4	2,40	2,40	2,30
MESEAU	Capacité*	800	1 000	1 000	1 000
	Epaisseur	1,4	1,4	1,4	1,4
MESEAU AVE	Capacité*	100	100	100	100
	Epaisseur	1,4	1,4	1,4	1,4
REMBLAYS SOUS CONDITION	Capacité*	100	100	100	100
	Epaisseur	1,4	1,4	1,4	1,4

* Capacité de stockage en fonction de la hauteur de remplissage et du type de matériau.

Le Bordereau de Suivi

Le Bordereau de Suivi s'obtient sur demande
auprès du Centre de recyclage agréé.



BORDEREAU DE SUIVI
Matériaux de démolition inertes

Document N° 7

PRODUCTION DU DÉCHET

si rempli par l'émetteur de déchets

Désignation de l'activité d'origine : Adresse : Lieu :
Tel : Fax : Tel : Fax :
Responsable : Responsable :

TRANSPORT

si rempli par le Collecteur transporteur, sauf si identique à l'émission

Désignation du déchet émis : Unité : Quantité :
Date :
Adresse :
Tel : Fax :
Responsable :
Dun-Cachet et visa :

TRAITEMENT ET VALORISATION

si rempli par le Centre de recyclage

Désignation du déchet reçu : Unité : Quantité :
Date :
Adresse :
Tel : Fax :
Responsable :
Dun-Cachet et visa :

Mode de traitement prévu : Réel ?
Recyclage sur place : Oui ?
Stockage - décharge : Non ?

Aggr du Centre de recyclage :
cartouche retenue aux échéances du Centre de recyclage

Remarque : à remplir par le Centre de recyclage

Ce document atteste du traitement et de la valorisation
des produits de démolition sur un Centre de recyclage,
conformément aux législations, réglementations,
et circulaires en vigueur.

Il assure la traçabilité auprès du Maître d'Ouvrage.



■ Bordereau de suivi des déchets de démolition

Les outils de la profession à disposition de nos clients



BORDEREAU DE TRAÇABILITÉ DES MATÉRIAUX ELABORÉS A BASE DE MIOM N°EX140109

1- PRODUCTEUR			
UICM	Nom	TIRU	N°SIRET
	Adresse	22, rue Arditi - 93400 Saint-Ouen	
ME	Nom	MIF Agence SPL	N°SIRET
	Adresse	2 rue du Gros Murgier - ZA des Bellevues - 95310 Saint-Ouen-l'Aumône	
Plateforme intermédiaire de stockage	Nom		N°SIRET
	Adresse		
2- RESPONSABLE DE LA MISE EN ŒUVRE			
	Nom	Colas L'île Saint Denis	N°SIRET
	Adresse	15 bis quai du Châtelet L'île Saint Denis	
3- CHANTIER			
	Libellé	Parking Castorama	N°site
	Adresse	Av M. Joffe Cormeilles en Parisis (Val d'Oise)	
	Coordonnées GPS	48°59'50" Nord 2°11'44" Est	
	Nature de l'ouvrage	Agrandissement du parking	
4- PRODUIT			
Non du produit	Scopave (MIOM certifiés, concessés, déformables, granulométrie 0/20 mm)		
Non traité	<input checked="" type="checkbox"/> Traité au lait hydraulique	<input type="checkbox"/> Autre	
	Norme Produit	NFP 11-300 (F61)	
5- DOMAINE D'EMPLOI			
Remblai d'ouvrage d'art	<input type="checkbox"/>	Couche de forme	<input type="checkbox"/>
Remblai de tranchée	<input type="checkbox"/>	Couche de fondation	<input type="checkbox"/>
Remblai sous chaussée	<input checked="" type="checkbox"/>	Couche de base	<input type="checkbox"/>
Autre :			
6- PRESCRIPTIONS RECOMMANDÉES D'EMPLOI			
		Oui	Non
Application dans le périmètre de protection rapproché de captage d'eau potable		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Application sous le niveau des plus faibles eaux courtes		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Application en zone inondable		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Application à moins de 30 mètres de tout cours d'eau		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Structure d'entretien ou poseuse		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Contact avec des canalisations métalliques		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
PRESCRIPTIONS COMPLÉMENTAIRES D'EMPLOI			
Exemple : Interdit sous bâtiment, couverture par 12 cm de coupe de chaussée minimum			
En signant ce document/l'acte de la validité des informations précitées et de l'adéquation de l'emploi des matériaux élaborés à base de miêche/ier sur non chantier avec les prescriptions d'emploi.			
Nom :		Date :	
Visa et tampon :			

■ Bordereau de suivi des granulats de mioms

Les outils de la profession à disposition de nos clients



■ Plaquette UNPG, Fntp, UNED « Terrassement Traitement Valorisation »

SÉLECTION DES PRODUITS ISSUS DU TERRASSEMENT DE BÂTIMENTS, DE VOIRIES, DE RÉSEAUX

PRODUITS ACCEPTÉS	PRODUITS ACCEPTÉS SOUS CONDITIONS	PRODUITS REJUSÉS
DÉBLAIS INERTES TRIÉS 	PRODUITS INERTES EN MÉLANGE 	GRAVATS EN MÉLANGE ET PRODUITS NON INERTES  <i>Gravats en mélange</i> <i>Présence de plâtre</i>
		<ul style="list-style-type: none"> • PLATRE • PLASTIQUE • BOIS • MATÉRIAUX ISOLANTS • BOUES • TOUS PRODUITS NON INERTES

Pour un meilleur traitement et une meilleure valorisation : les différentes étapes suivant le SOSED*

SUR CHANTIER		SUR CHANTIER OU SUR SITE DE VALORISATION		SUR SITE DE VALORISATION		NOUVEAUX CHANTIERS	
Dégauchage	Sélection des produits (voir ci-dessus)	Acceptation préalable		Traitement (concasse, séparateurs, cribles)	Valorisation (concasse, gaufre, essai)	Structure de chaussée (voir au dos)	Remblaiement de tranchée (voir au dos)
							

* Schéma d'Organisation et de Suivi de l'Élimination des Déchets de Chantier

49

Granulats recyclés et artificiels






Lmdc
toulouse

*Laboratoire
Matériaux et Durabilité des Constructions*

INSA - Université Paul Sabatier - Toulouse - France



**Porosage de terres cuites à l'aide
d'agro-matériaux:
conséquences sur leurs propriétés**

Bernard PERRIN

135, Avenue de Rangueil 31077 Toulouse Cedex 4 France - <http://www-lmdc.insa-toulouse.fr>

Objectif:

Améliorer les propriétés thermiques sans nuire aux propriétés mécaniques


Moyens:

Introduire des agro-matériaux avant séchage et cuisson,

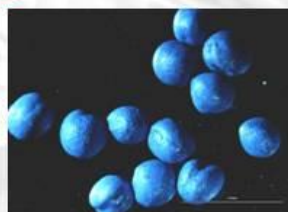
Augmenter la porosité, facteur de réduction de la conductivité thermique,
Possibilité de récupération de l'énergie de combustion des agro-matériaux,
Matériaux disponibles en quantité et à très faible coût.

Matières porosantes

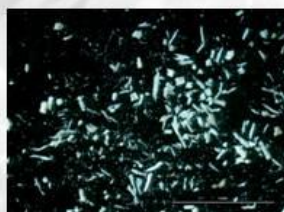
- Semences traitées
 - Colza
 - Tournesol (broyé)
 - Blé (broyé)
 - Maïs (broyé)
- Rafles de maïs
- Fibres de résineux
- Paille de blé



Des formes et des compositions différentes



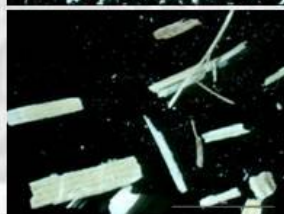
Colza



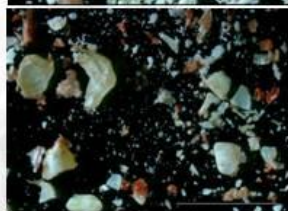
Fibres bois



Maïs



Paille



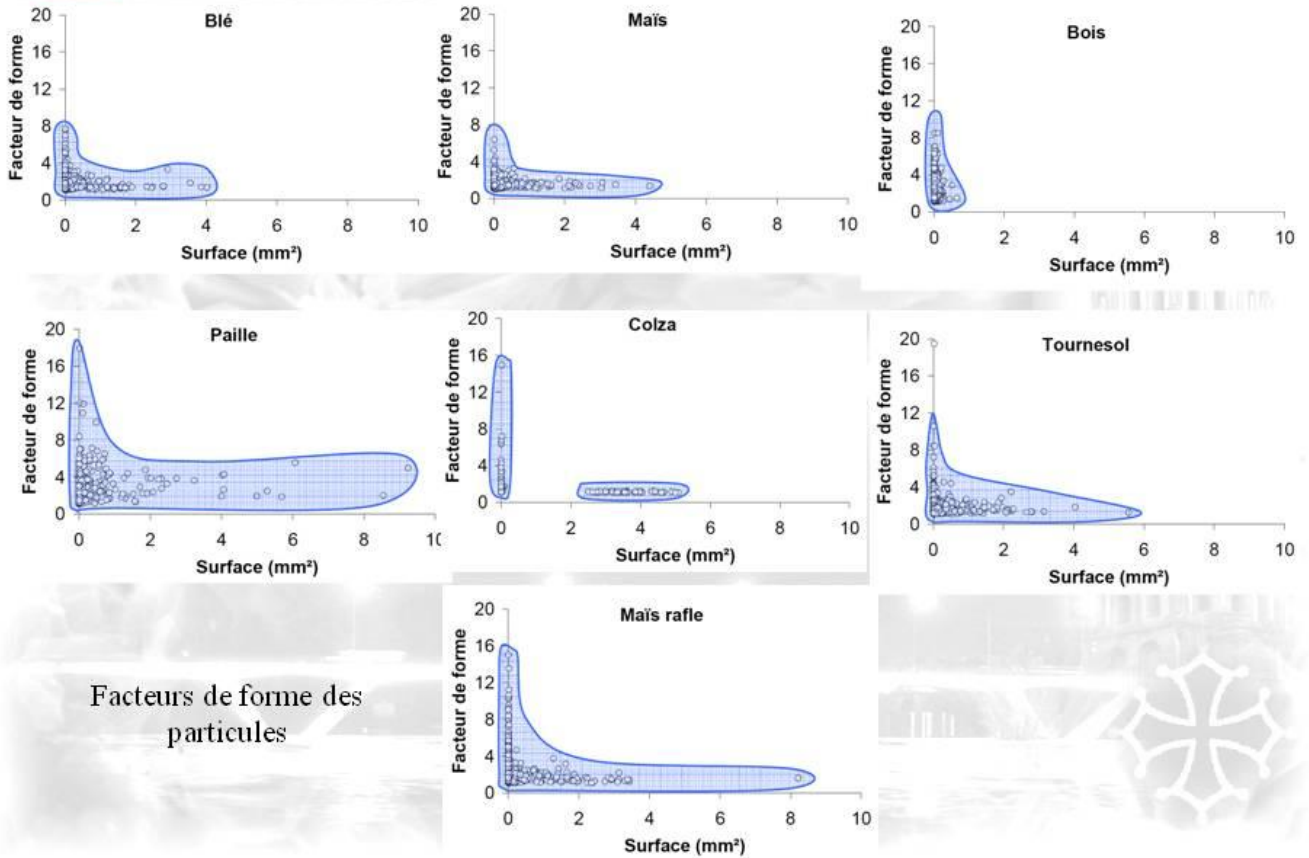
Blé



Maïs rafle



Tournesol

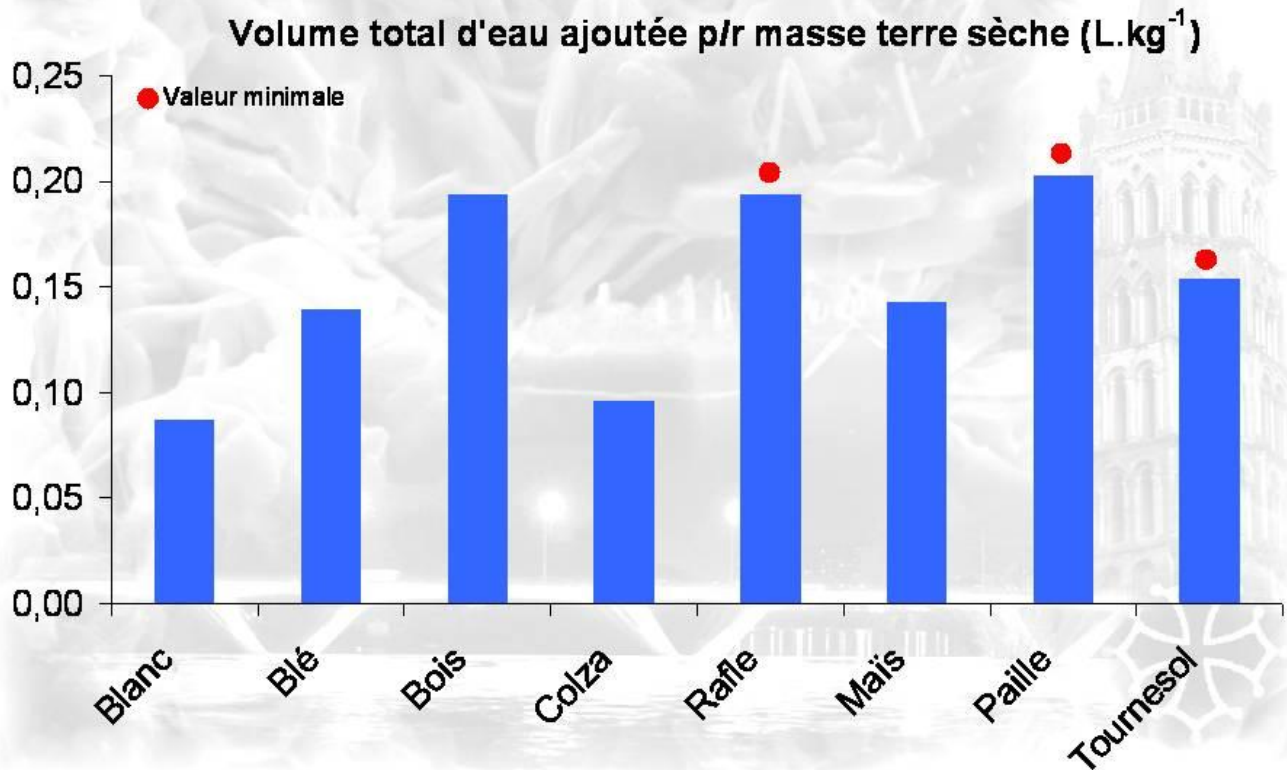


Facteurs de forme des
particules

Des quantités introduites variables maniabilité conservée

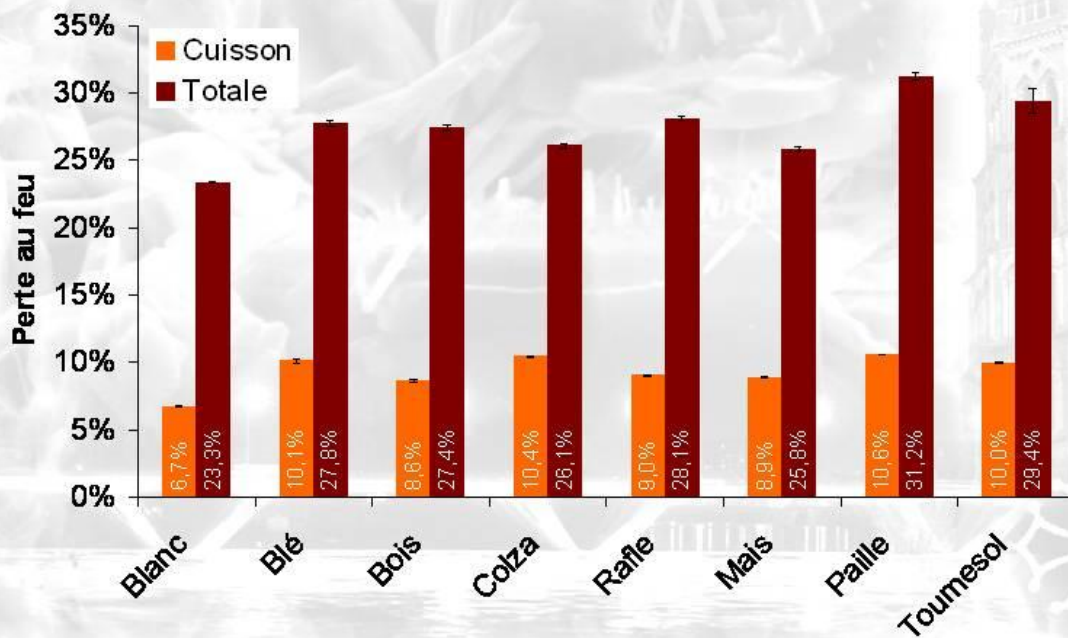
Matière	% sur masse sèche
Référence	0.0
Blé	9.1
Bois	7.0
Colza	9.1
Raffles	6.0
Maïs	9.0
Paille de blé	5.9
Tournesol	9.1

Matériaux porosés - mélanges

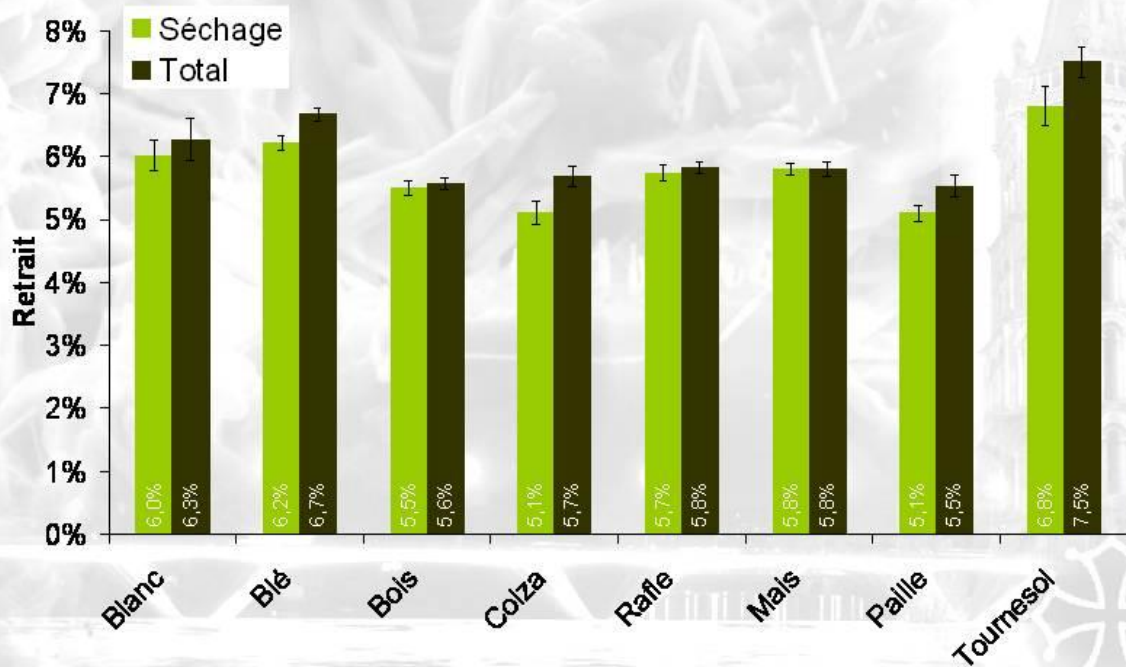




Pertes de masse des matériaux au cours de la fabrication



Retraits au séchage et à la cuisson



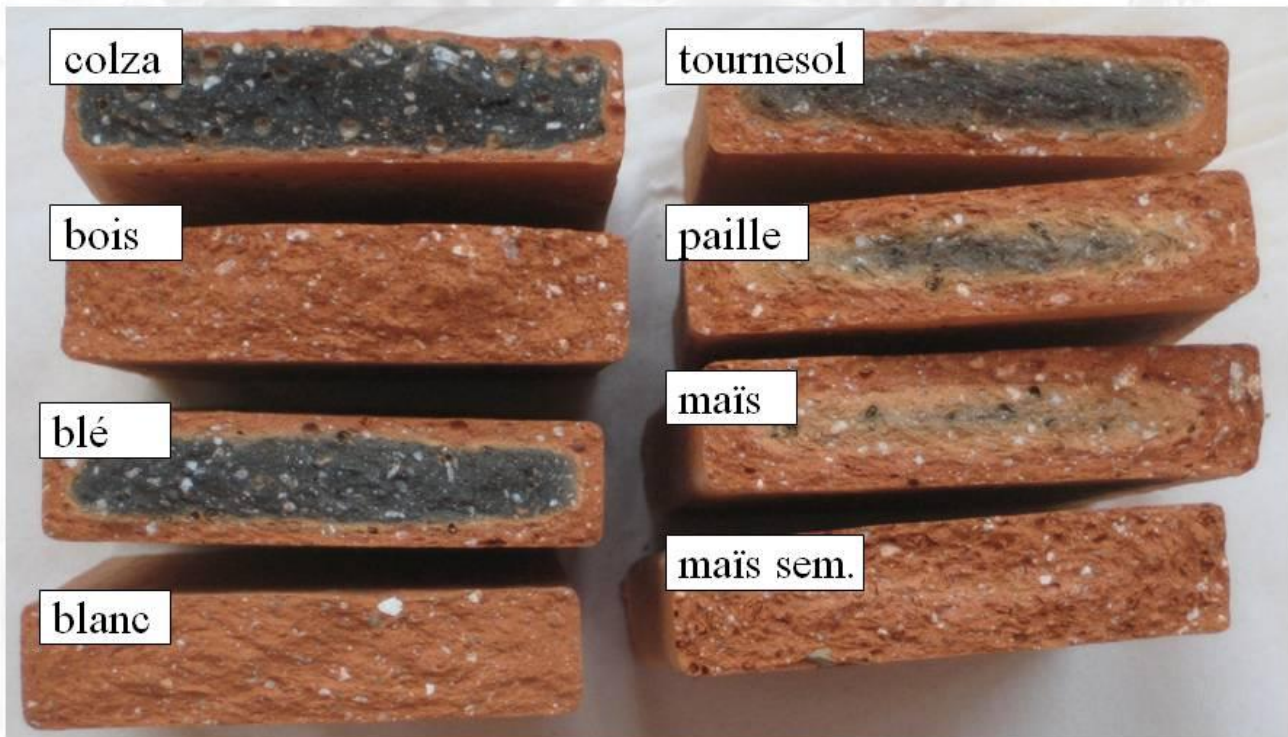
Des pouvoirs calorifiques différents

Matière	PCS sur anhydre (J.g ⁻¹)	PCI sur anhydre (J.g ⁻¹)
Blé	18 402	16 866
Bois	19 515	17 101
Colza	28 524	27 104
Maïs rafle	18 526	17 056
Maïs	18 595	17 101
Paille	18 581	17 108
Tournesol	28 715	27 295

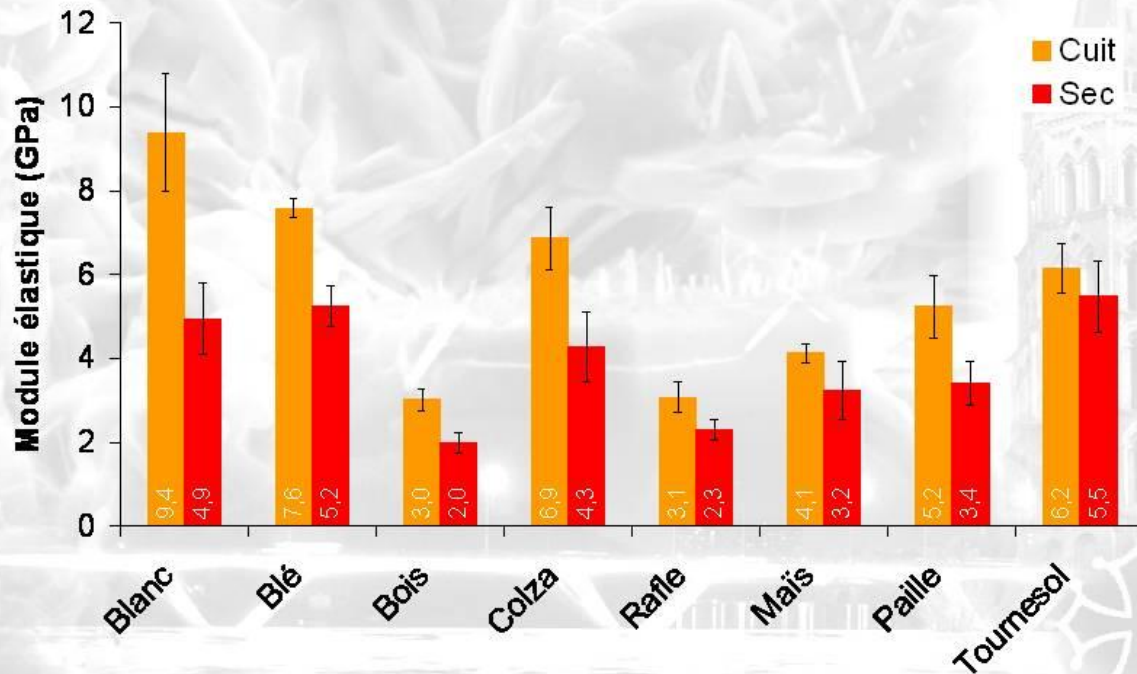
Matériaux poreux – densité, porosité

Code	Densité apparente (g.cm ⁻³)	Porosité ouverte (%)	Absorption d'eau (%)
Témoin	1,99±0,00	24,8±0,1	12,5±0,1
Blé	1,80±0,00	30,4±0,4	16,9±0,2
Bois	1,67±0,01	36,9±0,3	22,0±0,3
Colza	1,80±0,01	30,6±0,3	17,0±0,2
Maïs rafles	1,65±0,01	37,4±0,5	22,7±0,4
Maïs semences	1,75±0,00	32,8±0,1	18,8±0,1
Paille	1,61±0,02	37,7±0,6	23,5±0,6
Tournesol	1,77±0,01	31,8±0,3	17,9±0,1

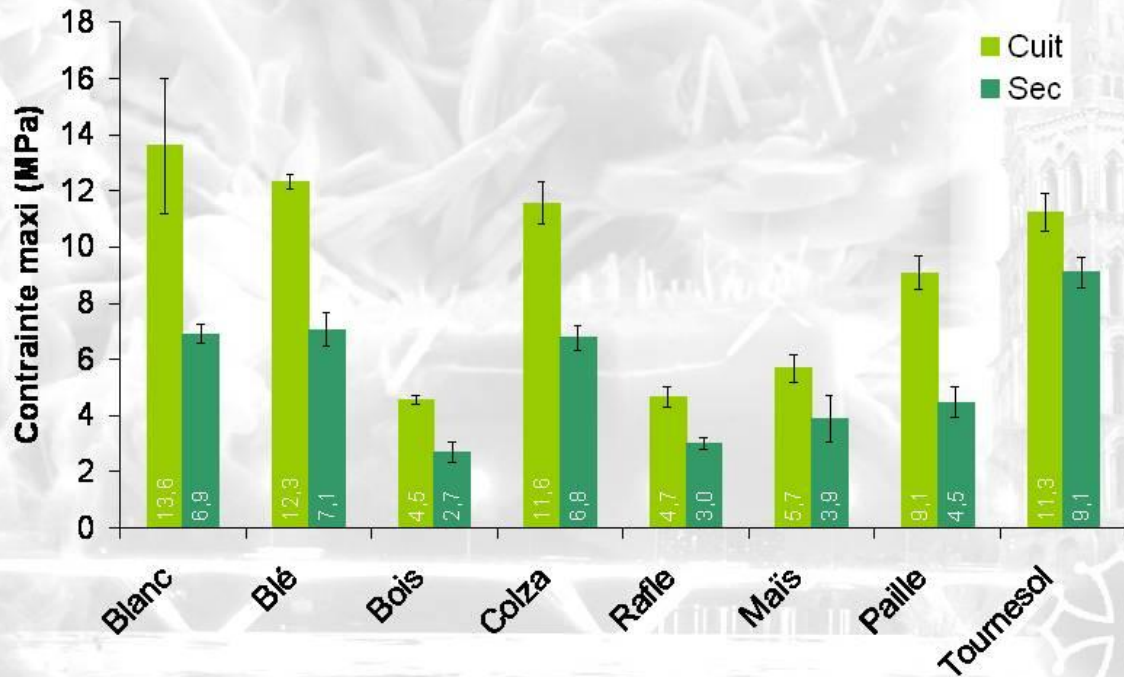
Possibilité d'apparition d'un cœur noir



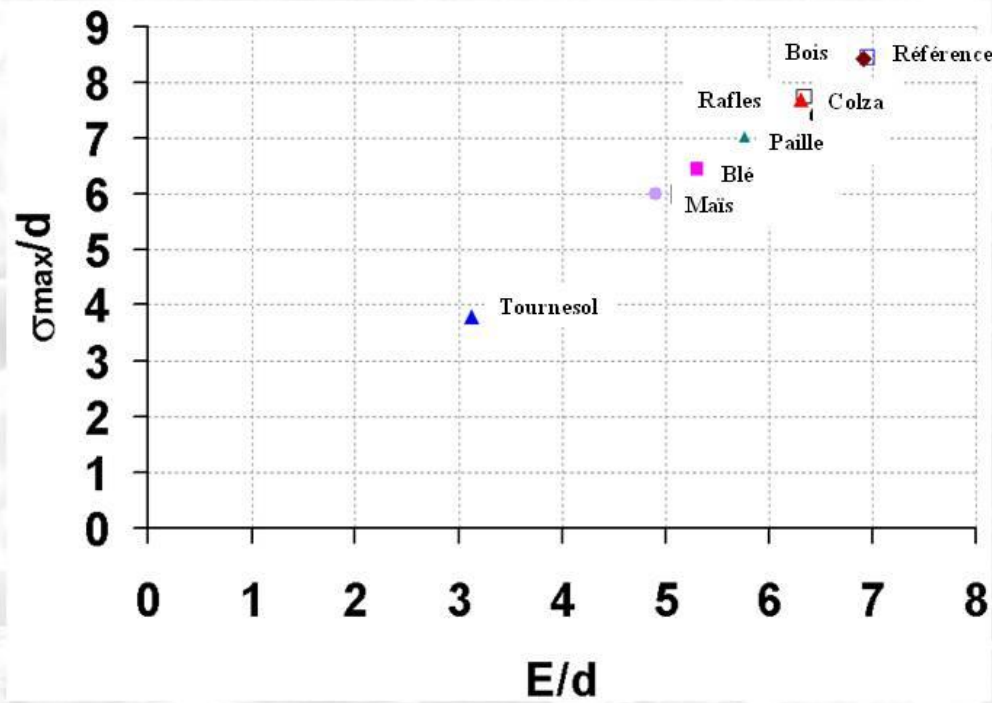
Les modules d'élasticité



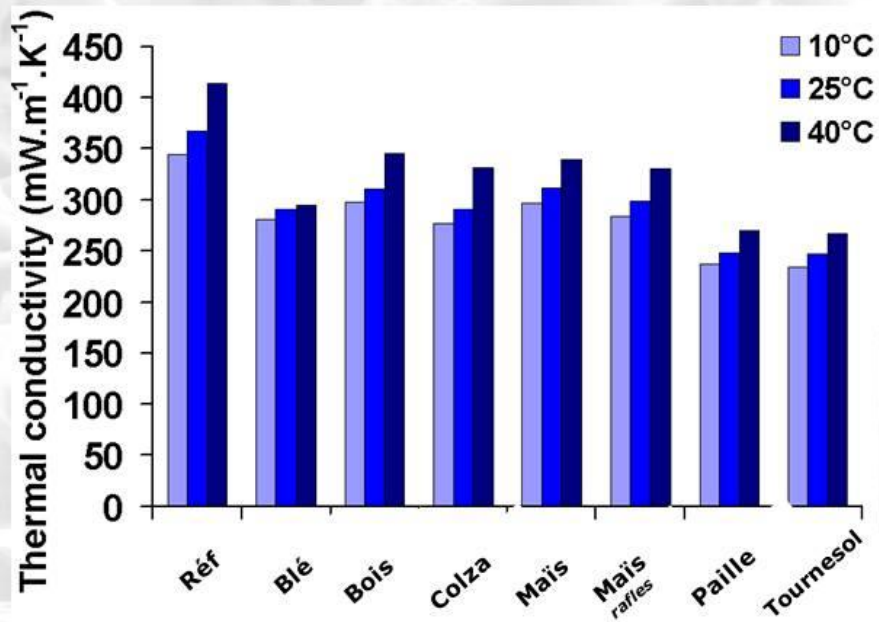
Résistances mécaniques



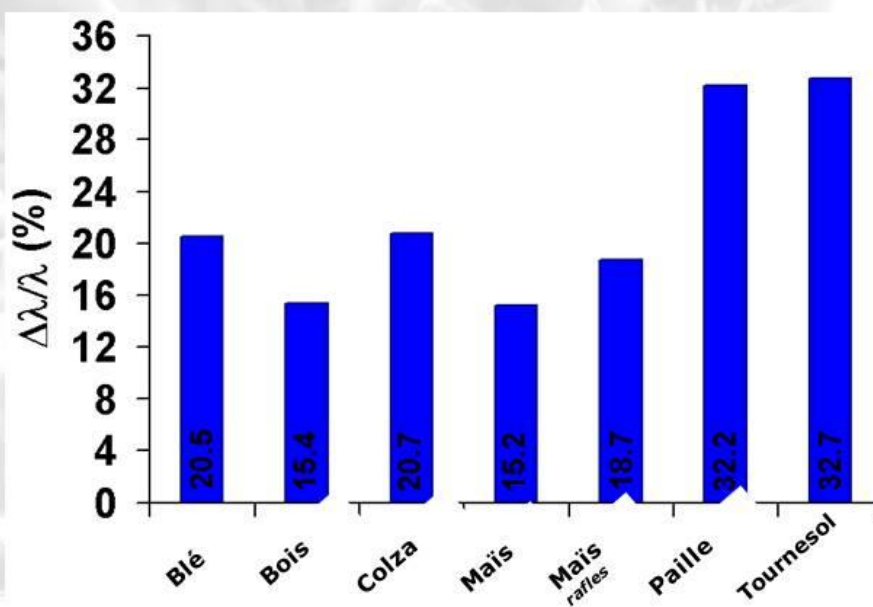
Relations résistances, modules , densités



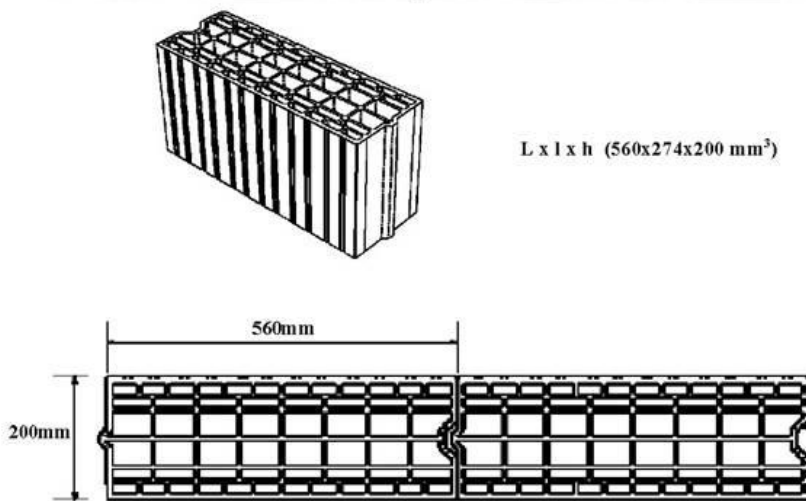
Evolutions des conductivités thermiques



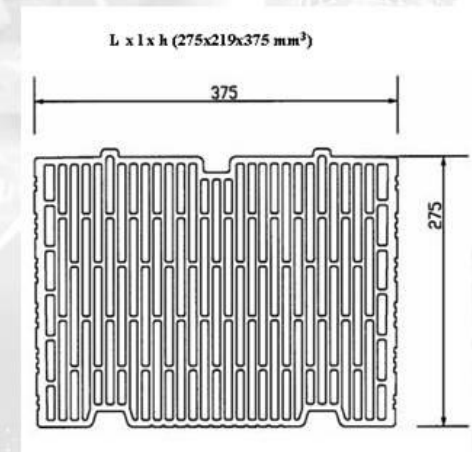
Gains relatifs de conductivités thermiques



Exemples d'impacts sur les caractéristiques thermiques de blocs de construction



OPTIBRIC PV3+



MONOMUR

Code	Conductivité thermique (mW.m ⁻¹ .K ⁻¹)	Résistance thermique de la brique (m ² .K/W)	ΔR/R at (%)
Réf	367.0	0.97	-
Blé	291.6	1.07	10.31
Bois	310.5	1.04	7.22
Colza	291.0	1.07	10.31
Raffles	311.3	1.04	7.22
Maïs	298.5	1.06	9.28
Paille	248.9	1.14	17.53
Tournesol	247.0	1.15	18.56

OPTIBRIC PV3+

Code	Conductivité thermique (mW.m ⁻¹ .K ⁻¹)	Résistance thermique de la brique (m ² .K/W)	ΔR/R at (%)
Réf	367.0	3.30	-
Blé	291.6	4.14	25.55
Bois	310.5	3.89	17.95
Colza	291.0	4.15	25.80
Raffles	311.3	3.88	17.65
Maïs	298.5	4.05	22.65
Paille	248.9	4.84	46.8
Tournesol	247.0	4.88	48.0

MONOMUR

Conclusions

D'ores et déjà, possibilité de trouver des agro-matériaux permettant, sans réduire de façon excessive les propriétés mécaniques, d'augmenter très significativement les propriétés thermiques, tant du tesson que du produit fini.

Nécessité d'optimiser la formulation des mélanges et d'effectuer un bilan énergétique complet.



Merci de votre attention !

Etude de l'utilisation des granulats de démolition dans le béton

A. Pavoine⁽¹⁾ — B. Cazacliu⁽¹⁾ — G. Habert⁽¹⁾ — C. Mallet⁽²⁾ — H. Davias⁽³⁾



¹ Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

² Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées CETE Ile de France

³ Laboratoire Régional des Ponts et chaussées CETE Ouest

1. Contexte 3 - 4

Quelques résultats d'études

2. Malaxage des bétons 5 - 15

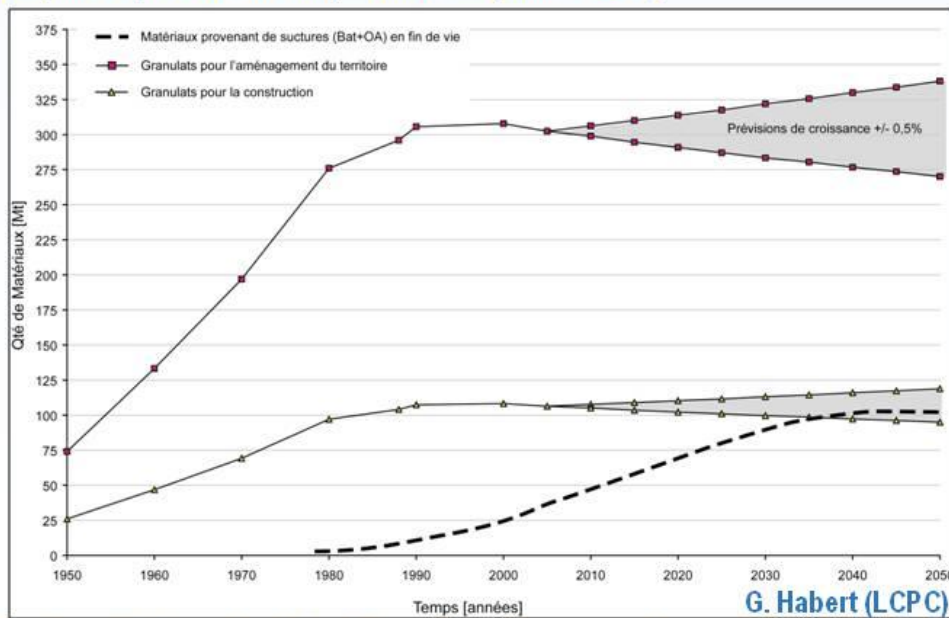
3. Compatibilité des matériaux 16 - 25

4. Conclusions et perspectives 26 - 27

Un constat

Demande sociétale forte pour diminuer la consommation des ressources naturelles et promouvoir le recyclage et la valorisation des matériaux

Les granulats recyclés représentent uniquement 4% (UNPG 2005)



↑ stocks de matériaux de démolition dans des proportions non négligeables

Exigences sur les granulats à béton

XP P 18-545 : « **Granulats** » Définition, conformité, codification

EN 12620 : « **Granulats pour béton** » couvre les gravillons recyclés (1500 à 2000 Kg/m³) et les sables recyclés

Des catégories sont définies en fonction de la nature des matériaux (pr En 933-11 Caractéristiques géométriques - Essais de classification des constituants de granulats recyclés - Béton, produits en béton, éléments de maçonnerie **Rc**)

NF En 206-1 Béton (spécification ,performance, production et conformité)
Précise les exigences pour les bétons d'ouvrages d'Art et de bâtiment

Problématique : granulats de démolition

Forte demande en eau des granulats de démolition

Hétérogénéité des matériaux

...

Une étude « préliminaire » en deux axes

Quel impact des procédés de malaxage des bétons formulés avec des matériaux de démolition ?

(LCPC, CETE Ouest)

Quel impact de la composition des granulats sur la compatibilité « granulats de démolition » / « matrice cimentaire » ?

(LCPC, CETE Idf)

Procédés de malaxage – Générer un stock de matériaux

Mise à disposition pour l'étude d'un stock réaliste de matériaux de démolition



Concassage / criblage sur site



Concasseur à mâchoires

Evacuation des fines puis

Pré concassage des blocs de béton

+

Concassage secondaire



Criblage

Classe granulométriques

- Tapis latéraux 31.5/80 et > 80 mm
- Tapis principal 0/31.5 mm

Procédés de malaxage – Générer un stock de matériaux



Procédés de malaxage – Générer un stock de matériaux



Criblage supplémentaire pour obtenir:

Classes granulométriques 0/2 ; 2/6 ; 6/10 ; 10/20

Masse volumique entre 2400 et 2600 kg/m³

Caractérisation des granulats XP P 18-545

Chapitre 10 : granulats pour bétons hydrauliques et mortiers

LA sur les gravillons 10/20 : 70 « médiocre » non recommandé pour la fabrication de bétons

Absorption d'eau

- Sable 0/2 : 9,0% (méthode non normalisée)
 - Gravillon 2/6 : 3,5%
 - Gravillon 6/10 : 2,7%
 - Gravillon 10/20 3,2% :
- } Ab_B

code	WA24 sur 0/D pour les sables et graves
Ab _A	Vss 2.5
Ab _B	Vss 5
Ab _C	Vss 6
Ab _D	Vss déclarée

10

Procédés de malaxage – Caractériser le stock de matériaux

Référence	Méthode		Gravier 10/20	Gravier 6/10	Gravier 2/6	Sable 0/2
Silice soluble	SiO ₂	Quinoléine	65,19	61,02	65,93	66,34
Oxyde d'aluminium	Al ₂ O ₃	ICP-AES	9,39	9,35	8,50	7,49
Oxyde de titane	TiO ₂	ICP-AES	0,49	0,49	0,41	0,44
Oxyde ferrique	Fe ₂ O ₃	ICP-AES	4,11	4,09	3,33	2,93
Oxyde de calcium	CaO	Complexométrie	9,10	10,28	13,12	10,33
Oxyde de magnésium	MgO	ICP-AES	1,42	1,41	1,07	0,74
Oxyde de sodium	Na ₂ O	ICP-AES	--	--	0,02	--
Oxyde de potassium	K ₂ O	ICP-AES	1,54	1,53	1,49	1,87
Anhydride sulfurique	SO ₃	Gravimétrie	0,29	0,30	0,32	0,34
Perte au feu à 1000°C Dont matières organiques	PAF	ATD/ATG	7,31 0,78	8,89 1,14	7,47 0,97	8,85 1,61

Phase minérale principale : Quartz (+++), Plagioclases (++) et calcite (+)

Faible quantité d'argile (chlorite)

Sulfates « attaque acide » majeure la solubilisation à l'eau : code SSa (0.2%) ou SSb (0.7%)

Constituants préjudiciables au fini de surface MO >0,25% sable, 0,1% gravillons

11

Programme d'essais

	Quantités /m ³
Ciment CEMI (kg)	344
Sable 0/4 (kg)	711
Gravier 8/22,4 (kg)	1031
Eau efficace (l)	176

Procédés de malaxage

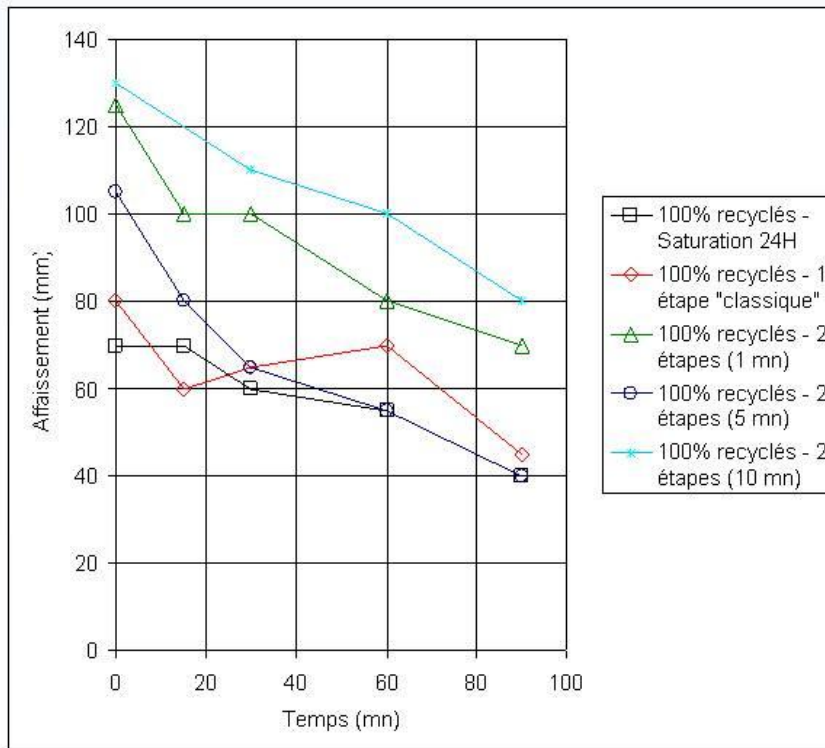
1. Saturation des granulats 24 heures
2. Introduction de l'eau en 2 étapes avec 5 mn de repos
3. Introduction de l'eau en une étape (classique)
4. Idem procédé 2 mais 1 mn de repos
5. Idem procédé 2 mais 10 mn de repos

Formulations

- F1. Béton de référence
- F2. 50% de gravillons recyclés
- F3. 50% du sable et des gravillons recyclés
- F4. 100% de gravillons recyclés
- F5. 100% du sable et des gravillons recyclés

Les substitutions sont volumiques

Résultats d'essais sur béton frais



✓ Affaissement plus important pour un ajout par étapes

✓ Forte évolution si ajout par étapes

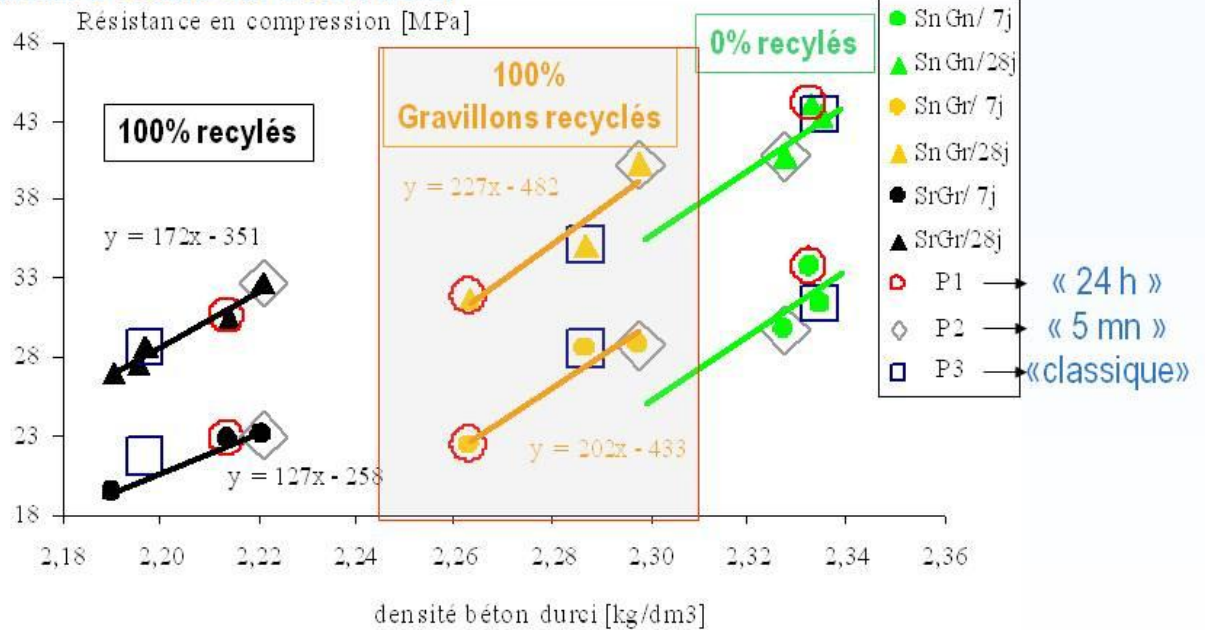
✓ Pas d'effet « simple » du temps de repos

✓ Affaissement « 24H » et « classique » comparables

Quelle cinétique d'absorption d'eau ?

Procédés de malaxage – Béton durci

Résultats d'essais sur béton durci



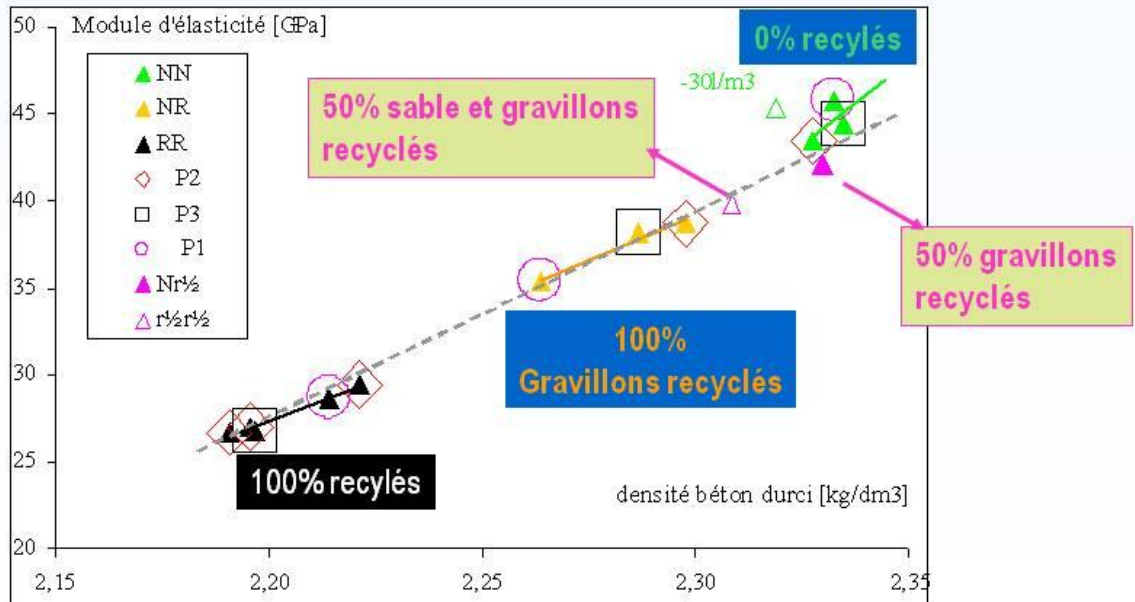
Rc plus faible avec les matériaux de démolition utilisés

Effet « procédé de malaxage » pour les granulats recyclés

Pour des granulats recyclés :

- ✓ Rc augmente avec un ajout d'eau en 2 étapes et 5 mn de repos
- ✓ Rc chute avec une saturation pendant 24 heures

Résultats d'essais sur béton durci



Forte chute du module avec le sable recyclé quel que soit le procédé de malaxage Impact « procédé de malaxage » avec l'augmentation des quantités de matériaux de démolition

Quel impact de la nature du liant adhérent au granulat ?

Programme de l'étude

- ✓ Constituer un stock de matériaux « modèles »
- ✓ Formuler des bétons en variant le type de liant
- ✓ Caractérisation du béton frais et du béton durci (R_c et MEB)

Quel impact de la nature du liant adhérent au granulat ?

Affinité chimique, activation ?

Cure interne susceptible de créer un gradient de degré d'hydratation du liant ?

Nouvel apport d'eau : gradient de degré d'hydratation du liant dans le granulat ?

Grossièrement :

Clinker + eau	➔	C-S-H + Portlandite
Laitier + activant	➔	C-S-H + autres

La basicité du granulat, l'apport éventuel en sulfates peuvent-ils contribuer à l'activation du laitier ?

Compatibilité des matériaux – Stock de granulats

Formulation des bétons en vue de constituer un stock de granulats

	Unité	Béton « CEM I »	Béton « CEM III »
Sable 0/4	Kg/m ³	729	715
Gravillons 8/22,4	Kg/m ³	1057	1036
Eau	l/m ³	182	186
Ciment CEM I	Kg/m ³	335	
Ciment CEM III	Kg/m ³		342
Rc 28J	Mpa	44,5	35,5
Rc 90J		52,3	43,0



Caractérisation des granulats (sable 0/4 et gravillon 4/20)

Béton concassé		Coef. d'aplatissement A	MV réelle (kgm ³)	Coef. D'absorption d'eau WA24 (%)
CEM I	0/4		2,17/2,18	3,4 / 8,0
	4/20	15	2,27/2,29	5,4
CEM III	0/4		2,10/2,11	4,3 / 8,9
	4/20	11	2,22/2,23	6,2

Forte demande en eau et mesures « peu » répétibles

Caractérisation des granulats (sable 0/4 et gravillon 4/20)

Après analyses chimiques et calculs minéralogiques

	Teneur en ciment (%)	Fraction calcaire (%)	Fraction siliceuse (%)
Sable 0/0.315 CEM I	27,8	10	49
Sable 0.315/4 CEM I	20,6	4	65
Gravillon 4/20 CEM I	12,4	5	72

Les éléments fins sont plus riches en ciment

Variation de la nature des constituants en fonction de la dimension des matériaux

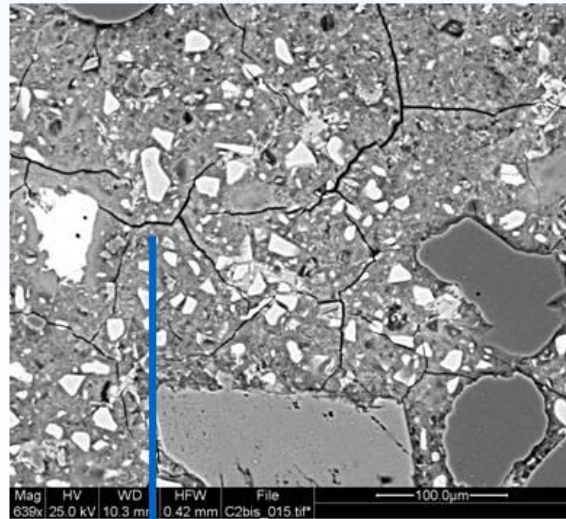
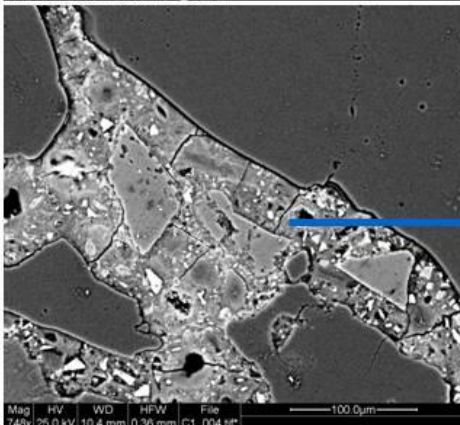
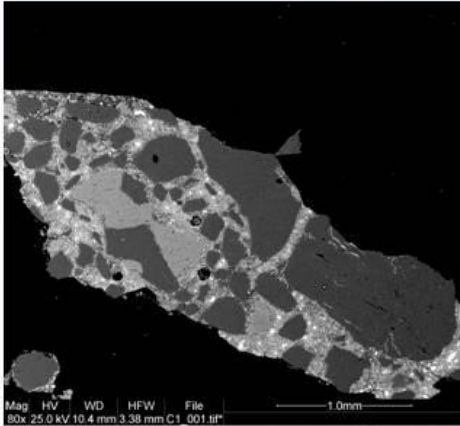
Formulation des bétons

Choix de l'étude : empilement granulaire « similaire »

Cela nous conduit à augmenter le dosage en ciment lorsque les granulats ne sont pas naturels (absence de fines du sable recyclé)

Exemples de formules	Référence CEM I	S&G « CEM I »	G « CEM III »	Référence CEM III	S&G « CEM III »
Sable 0/4	729	776	861	714	731
Gravier 4/20	1057	719	850	1036	742
Ciment CEM I	335	424	338	342	410
Eau efficace	182	230	183	186	222
Rc 8 jours (Mpa)	34,0	28,4	36,4	28,3	26,1
Rc 28 jours (Mpa)	44,5	38,8	45,5	35,5	36,8

Examen des grains de sable

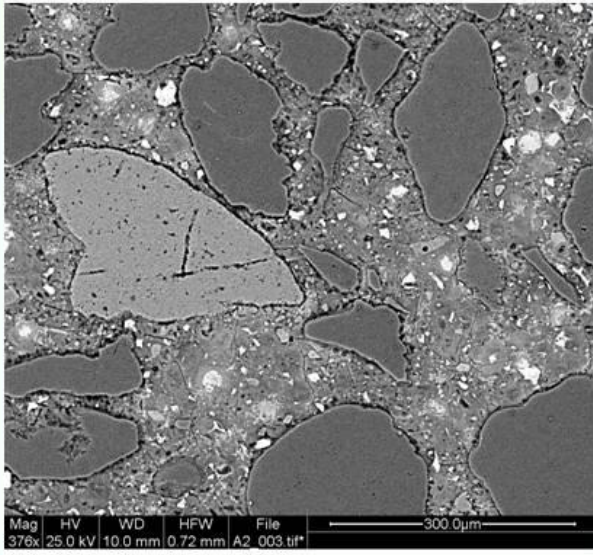


Des fissures créés par le procédé
d'élaboration du granulat

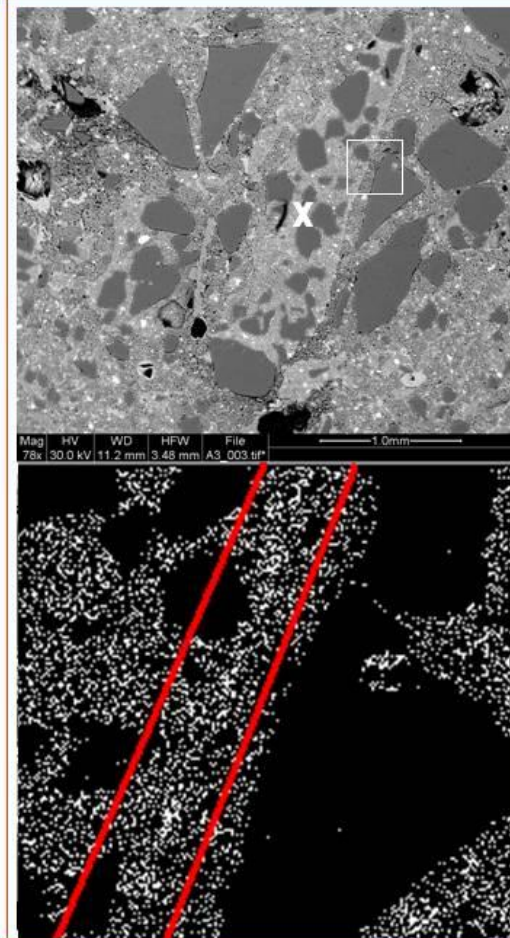
Une des causes de la forte demande en eau

Compatibilité des matériaux – Examens MEB

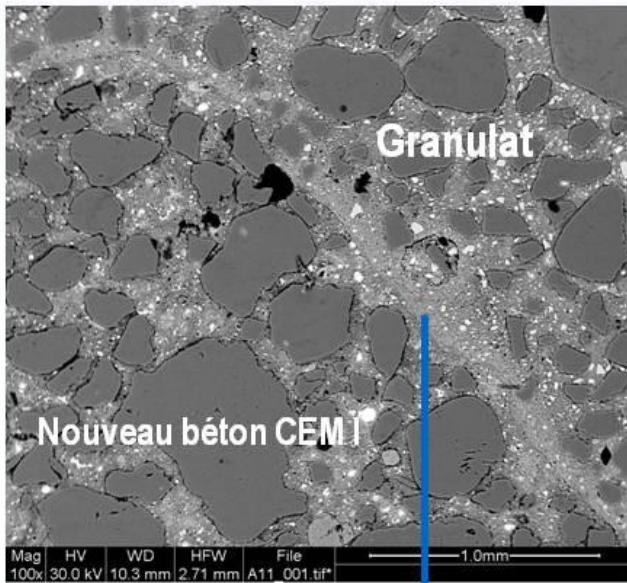
Béton de référence CEM I sans
granulats de démolition



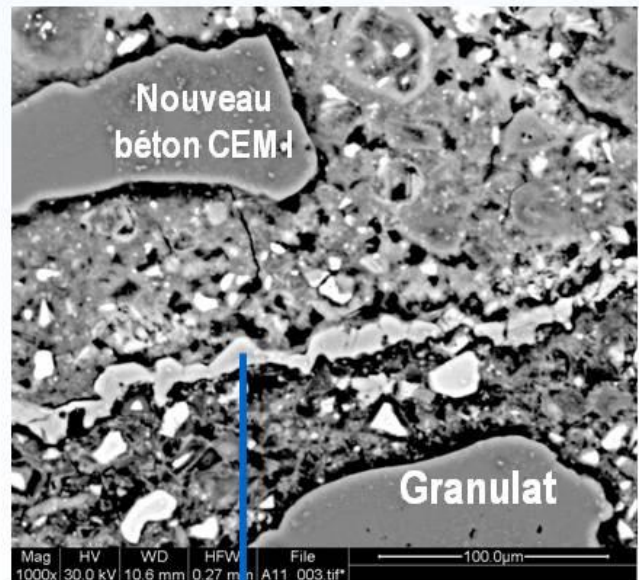
Béton avec granulats de
démolition CEM I (100%)



Béton : gravillons CEM III

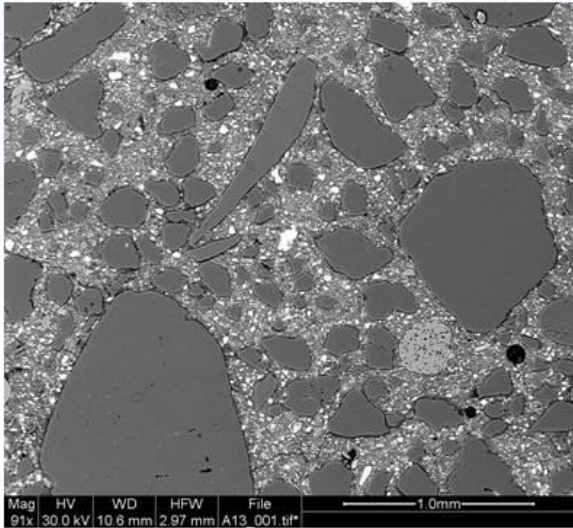


Auréole de transition riche en pâte



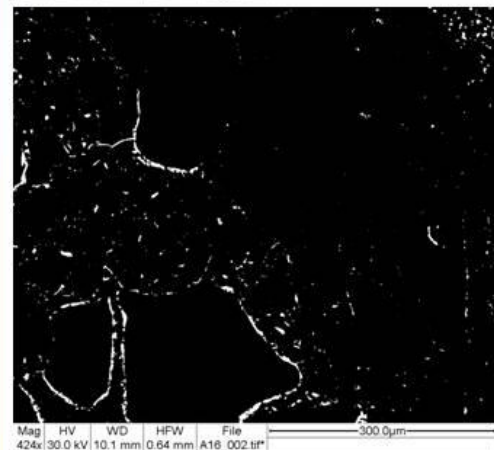
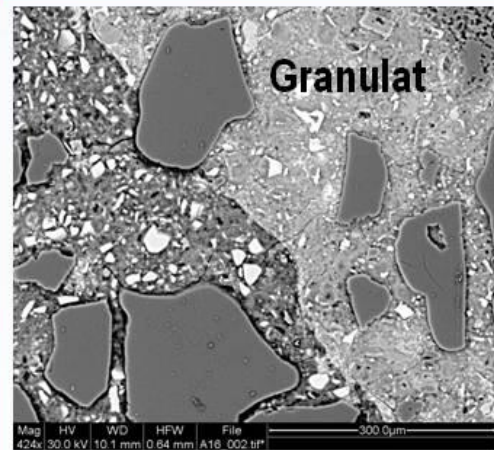
Zone riche en calcium

Compatibilité des matériaux – Examens MEB



Béton de CEM III de référence

Béton de CEM III avec 100% de
granulats recyclés CEM I



Procédés de malaxage

- ✓ Diminution des propriétés du béton si utilisation du sable de démolition
- ✓ Un temps de repos de 5 mn améliore R_c du béton lorsque le béton est formulé avec des gravillons de démolition
- ✓ Un ajout d'eau par étape conduit à un béton plus fluide

Type de liant adhérent au granulats de démolition

- ✓ La présence de liant sur les granulats de démolition est un facteur d'amélioration de la zone de transition entre les granulats et la nouvelle pâte de ciment
- ✓ Aucun phénomène de cure interne n'a été observé : le degré d'hydratation des liants dans les zones de transition pâte/granat de démolition est homogène.
- ✓ Un phénomène d'affinité physico-chimique favorise la formation de produits riches en calcium (Portlandite) en présence de pâte adhérent au granulats de démolition
- ✓ Propriétés mécaniques des bétons testés satisfaisantes mais avec un dosage en ciment conséquent

Plusieurs axes de recherche peuvent être dégagés

- ✓ Procédés d'amélioration des caractéristiques des granulats de démolition
- ✓ Robustesse des propriétés du béton en fonction de la variabilité des caractéristiques des granulats
- ✓ Formulation des bétons en présence de sulfates
- ✓ Développement de méthodes d'essais spécifiques aux matériaux recyclés (cinétique d'absorption d'eau par exemple)

Merci pour votre attention

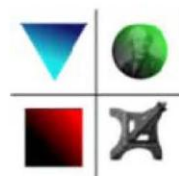
Séminaire de clôture de l'opération « bétons environnementaux » ENPC le 20 décembre 2010

27

Modélisation Multi-échelles du Comportement thermique du Béton de Chanvre.

MOM Sophanarith
BEN HAMIDA Abdelwahed
DARTOIS Sophie
DUMONTET Hélène
BOUSSA Hocine

UPMC
UPMC
UPMC
UPMC
CSTB



CONTEXTE DE L'ETUDE



Objectif des
industriels

Bétons de chanvre
=
Matériau de construction
fiable à large diffusion



- Constance de fabrication et de performances
- Certitude de l'adaptation à une utilisation donnée



Modélisation du comportement des bétons de chanvre

vs/ { acoustique } { thermique, hydrique, } { mécanique }

- Projet Silent Wall
Problématique multi-échelle de systèmes Thermo-acoustiques hétérogènes,
Coordination US2B

- Projet 2C2E
Coordination ENTPE
- Projet Prochanvre
Coordination LET2E,
Univ. Bretagne sud

Bibliographie essentiellement sur travaux expérimentaux



UPMC
UNIVERSITÉ PARIS UNIVERSITÉS



Collaboration depuis Oct 09

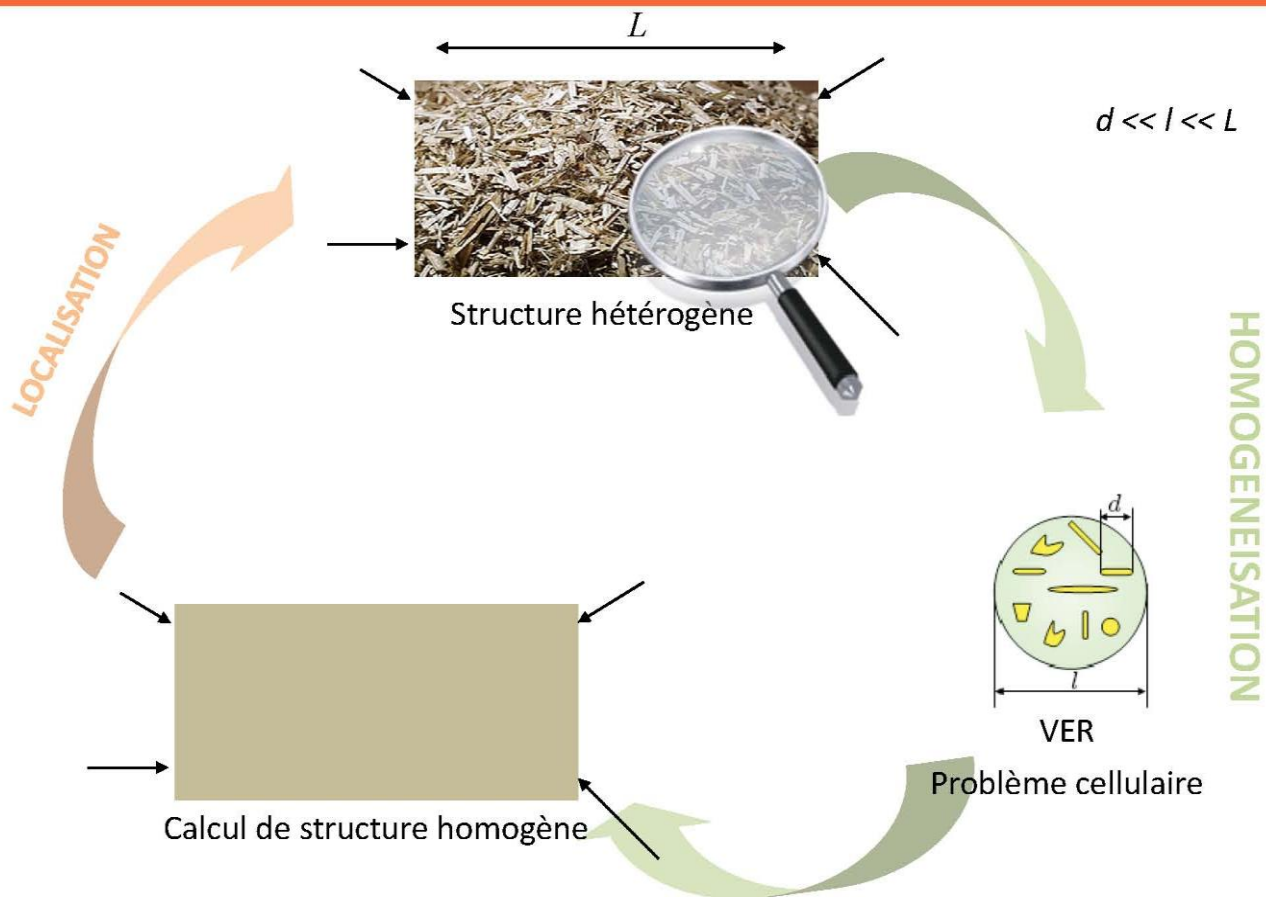
CSTB
le futur en construction

Objectifs :

- Comportement effectif des bétons en fonction de leur **microstructure**
- **Couplages** Thermo-Hygro \leftrightarrow Mécanique
- Comportement à **long terme** (durabilité)

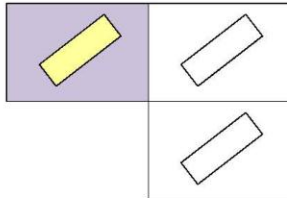


Principe des Approches Micromécaniques



Exemples de Méthodes d'Homogénéisation

► Méthode des milieux périodiques



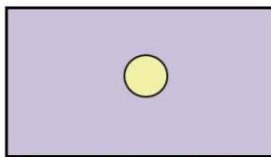
- Conditions aux limites,
- Forme du VER



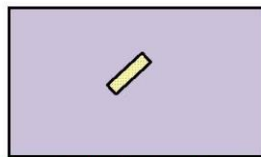
Résolution numérique.
Milieu équivalent anisotrope

► Méthode des modules effectifs

(distribution diluée, autocohérent, Mori-Tanaka, ...)



Milieu équivalent isotrope

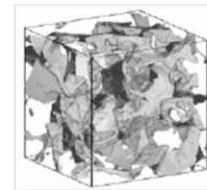


Milieu équivalent anisotrope

VER Simple

Résolution analytique ou numérique

Limitée au faible taux



VER Riche

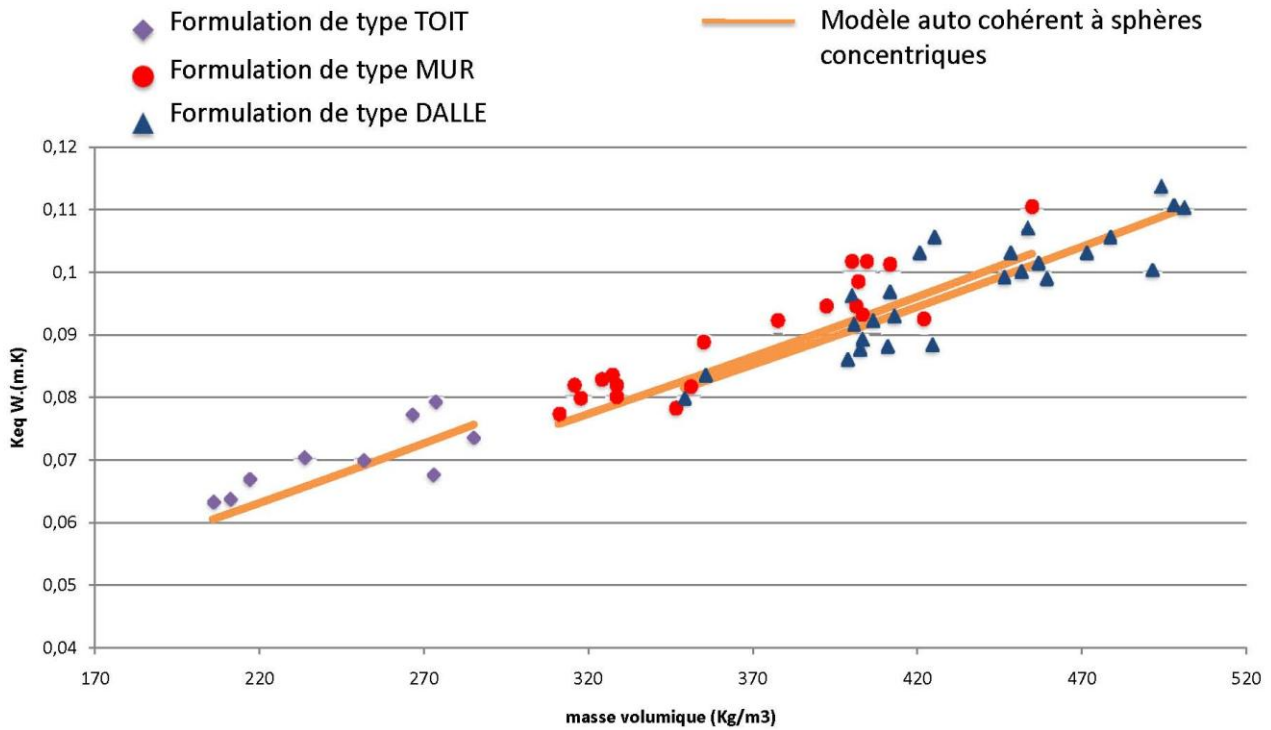
Résolution numérique

Coûteux en temps de calcul

Résultats expérimentaux & analytiques et objectif

► Résultats expérience & modélisation (chanvre / chaux aérienne)

V. CEREZO thèse 2005



Objectif : validation du modèle numérique par les résultats expérimentaux

Problématique et Modélisation

► Spécificités géométriques de la **microstructure**

- Taux de renfort **élevé**
- **Morphologie** et **répartition** des renforts et des pores
- Multiplicité des **échelles** impliquées (porosité)



~~Méthodes des
modules
effectifs sur VER
simple.~~

► Spécificités comportementales de la **microstructure**

- Comportement **non linéaire** des phases
- **Endommagement /Durabilité**, (Rôle de la microstructure),
- **Couplages** multiphysiques thermo-hygro-mécaniques

~~Méthodes des
modules
effectifs sur VER
riche.~~

Coût de calcul trop **élevé**

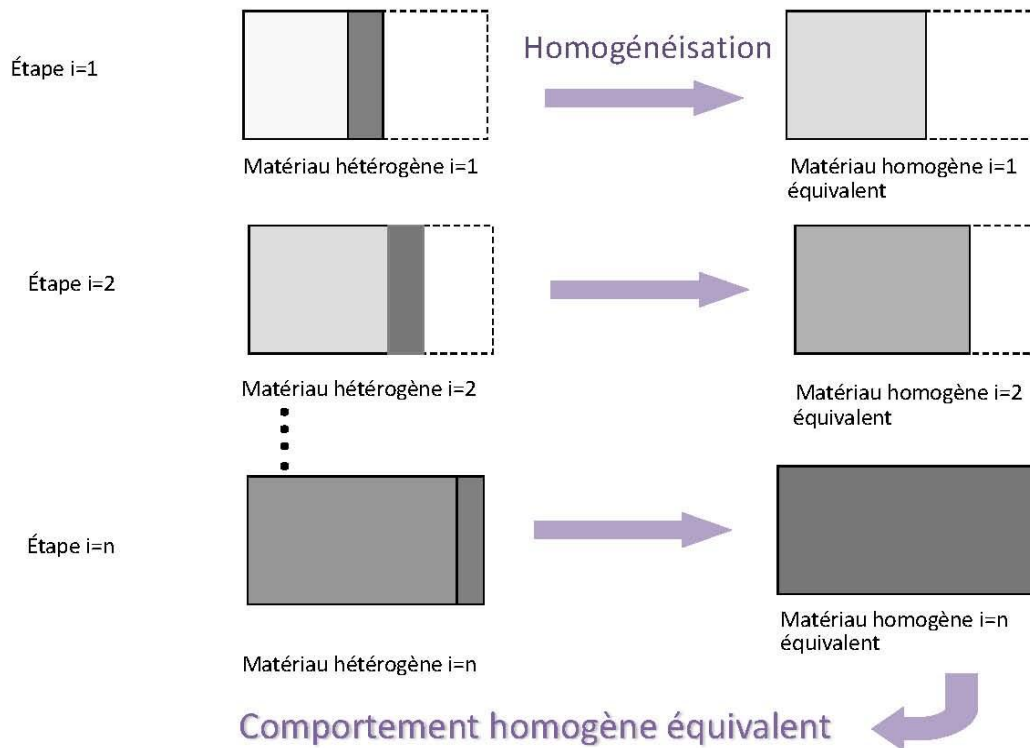
Méthode d'homogénéisation itérative numérique

Plan de l'Exposé

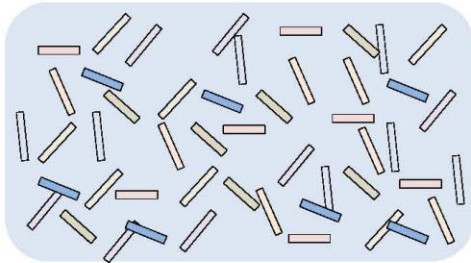
- ▶ **Présentation** du principe d'homogénéisation **itérative**.
- ▶ **Application** au 2D biphasé : analyse des résultats et limite de l'approche
- ▶ **Modélisation** 3D triphasé / comparaison à l'expérimental
- ▶ Premier **bilan** et étapes à **venir**.

PRINCIPE DE LA METHODE ITERATIVE

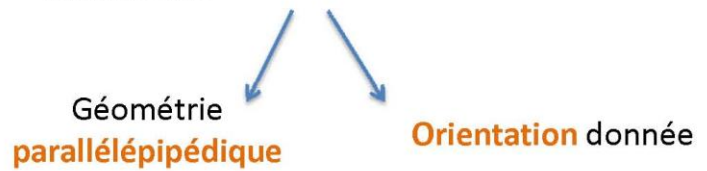
Utiliser les méthodes à VER simple dans leur domaine de validité (faibles taux de renforts): par **introduction progressive des hétérogénéités**.



METHODE ITERATIVE : Adaptation aux bétons de chanvre



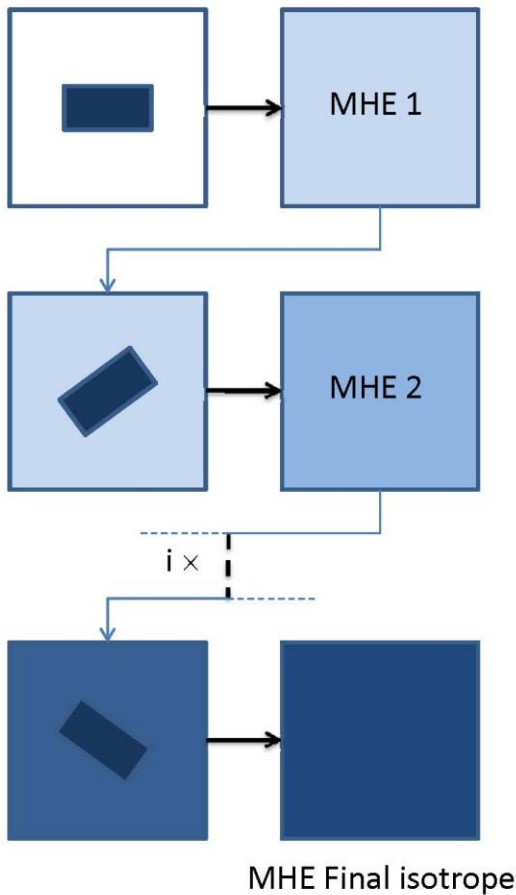
- Fraction ajoutées à chaque incrément = échantillon issu d'une population de chènevottes



- Matériau globalement **isotrope**

Nécessité d'adapter le processus itératif pour tenir compte de ces spécificités
=> développement de 3 algorithmes d'introduction des renforts

Méthode Combinée



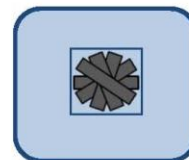
Propriétés :

- Combinaison d'une **homogénéisation**, d'une variation d'**angle** et de **liant** à **chaque pas**
- MHE final **isotrope** malgré discrétisation des orientations de chènevotte.

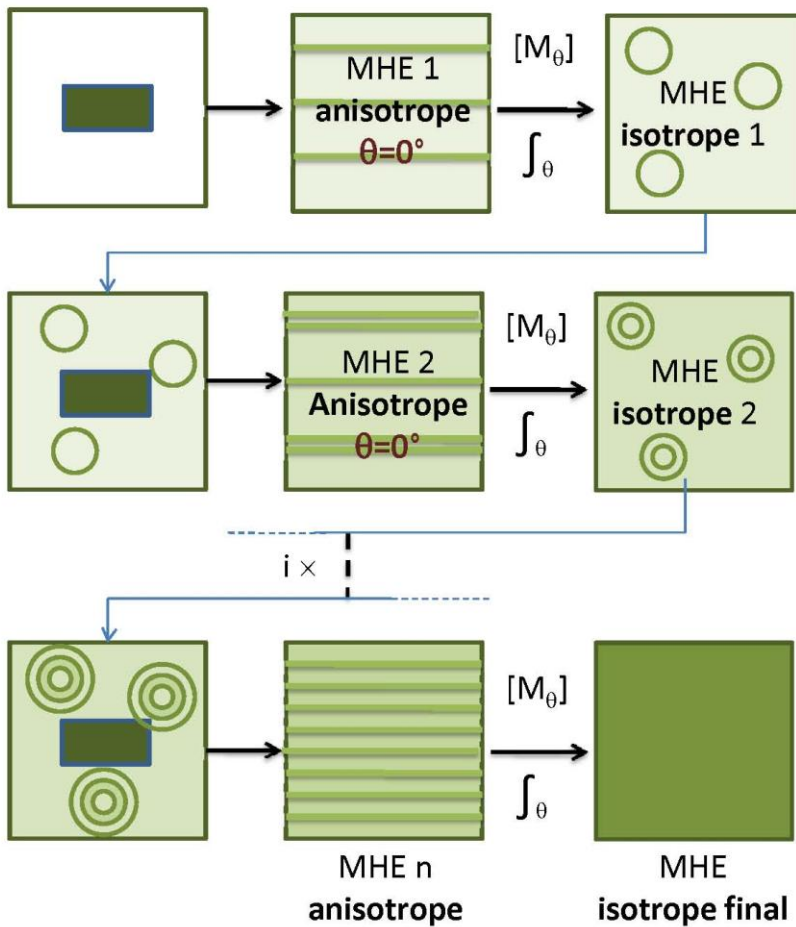
Inconvénients :

- Coût de calcul
- Passage au 3D lourd à mettre en place

Symbole sur les courbes :



Méthode à MHE Intermédiaires Isotropes



Intérêts :

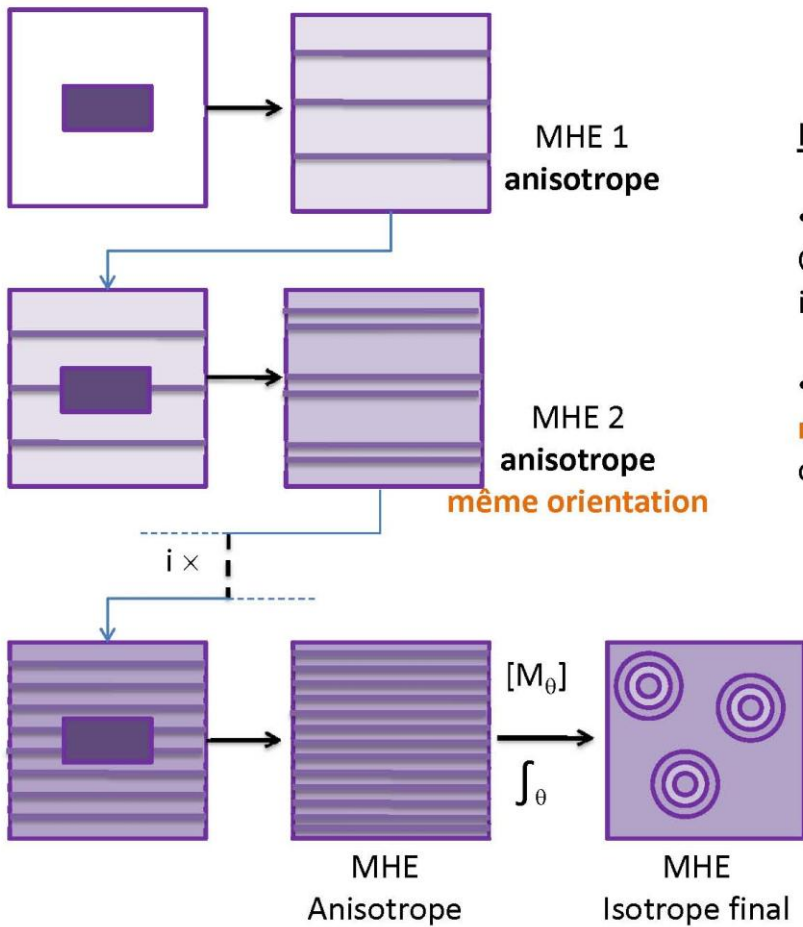
- Plus **économique** en temps CPU
- Une seule orientation (i.e. **un seul maillage** pour chaque étape d'homogénéisation).

Symbole sur les courbes :



16

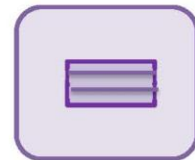
Méthode à MHE Intermédiaires Anisotropes



Intérêts :

- Encore plus **économique** en temps CPU. (1 seule rotation et intégration)
- Une seule orientation (i.e. **un seul maillage** pour chaque étape d'homogénéisation).

Symbole sur les courbes :

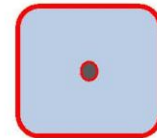


17

INFLUENCE DE LA MORPHOLOGIE DE LA MICROSTRUCTURE

► Comportement équivalent : Confrontation à des approches classiques.

- Homogénéisation **itérative 2D à renforts circulaires**
(résolution analytique)



- Homogénéisation **itérative 3D à renforts sphériques**
(résolution analytique)



- Homogénéisation **itérative à renforts rectangulaires et angle variable**
Méthode Combinée (Résolution numérique)



- Homogénéisation **itérative à renforts rectangulaires**
Méthode à MHE Intermédiaires Isotropes (Résolution numérique)



- Homogénéisation **itérative à renforts rectangulaires**
Méthode à MHE Intermédiaires Anisotropes (Résolution numérique)



19

Résultats pour matériaux biphasés (Chanvre + Chaux) 2D

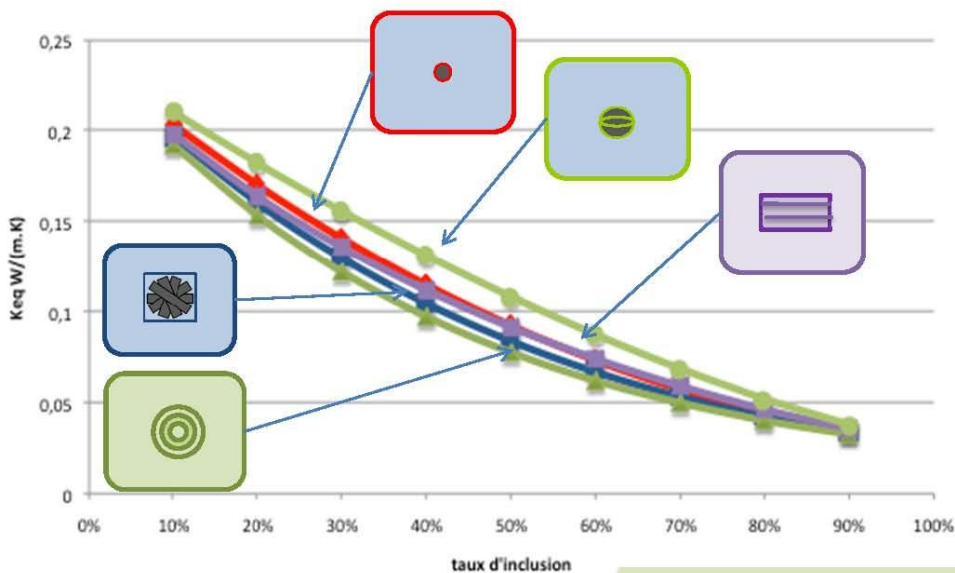
► Comportement thermique des phases (isotrope)* :

$$K_{\text{chaux}} = 0.24 \text{ W/(m.K)}$$

$$K_{\text{chen}} = 0.058 \text{ W/(m.K)} \text{ (en vrac)}$$

► Comportement thermique effectif d'un matériau biphasé :

Confrontation des différentes méthodes d'homogénéisation.



MHE Intermédiaires Anisotropes validé

Ecart entre 2D et 3D

20

* Réf : V. Cérézo thèse 2005, D. Samri thèse 2008

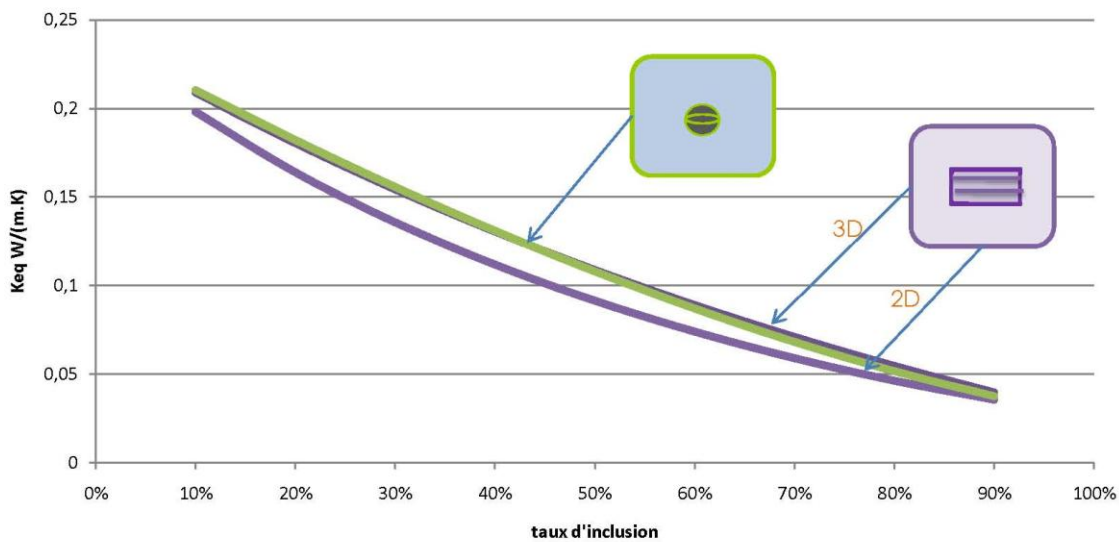
Résultats pour matériaux biphasés (Chanvre + Chaux) 3D

► Comportement thermique des phases (**isotrope**)* :

$$K_{\text{chaux}} = 0.24 \text{ W/(m.K)}$$

$$K_{\text{chen}} = 0.058 \text{ W/(m.K)} \text{ (en vrac)}$$

► Influence de la 3d sur le comportement homogénéisé :

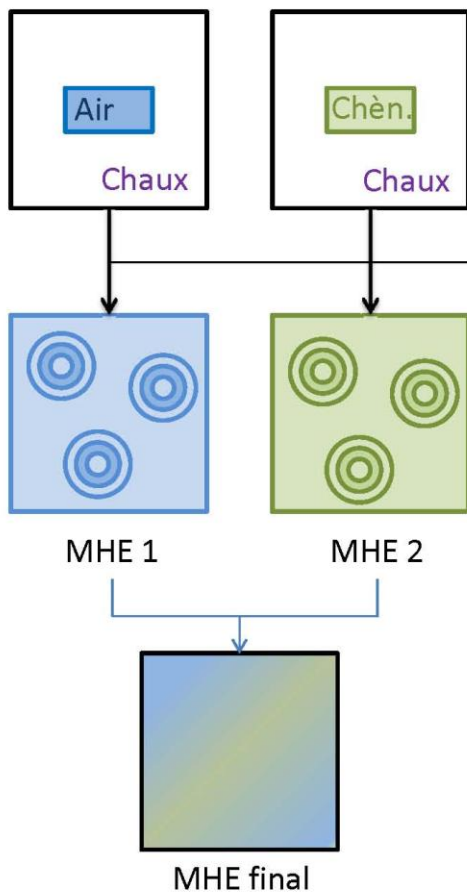


Nécessité du 3D

21

* Réf : V. Cérézo thèse 2005, D. Samri thèse 2008

PRISE EN COMPTE DE LA POROSITE



► Comportement thermique des phases (isotrope)*

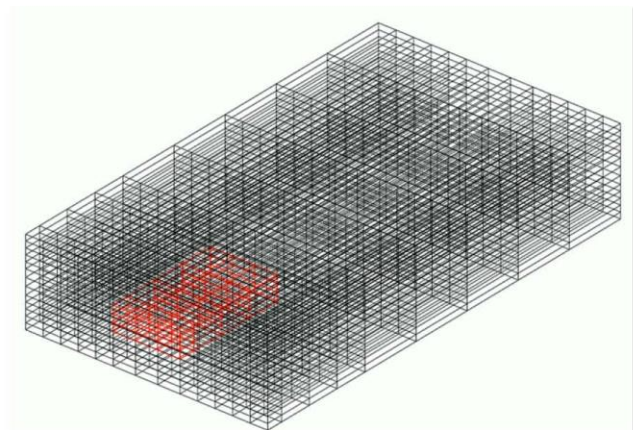
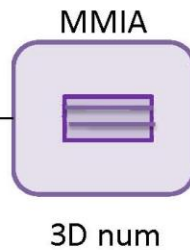
$$K_{\text{chaux}} = 0.24 \text{ W/(m.K)}$$

$$K_{\text{chen}} = 0.104 \text{ W/(m.K)}$$

$$K_{\text{air}} = 0.0261 \text{ W/(m.K)}$$

► Caractéristiques géométriques chènevotte

20mm / 5mm / 2mm



Maillage d'un demi-VER sous Castem
nombre de nœuds : 1750

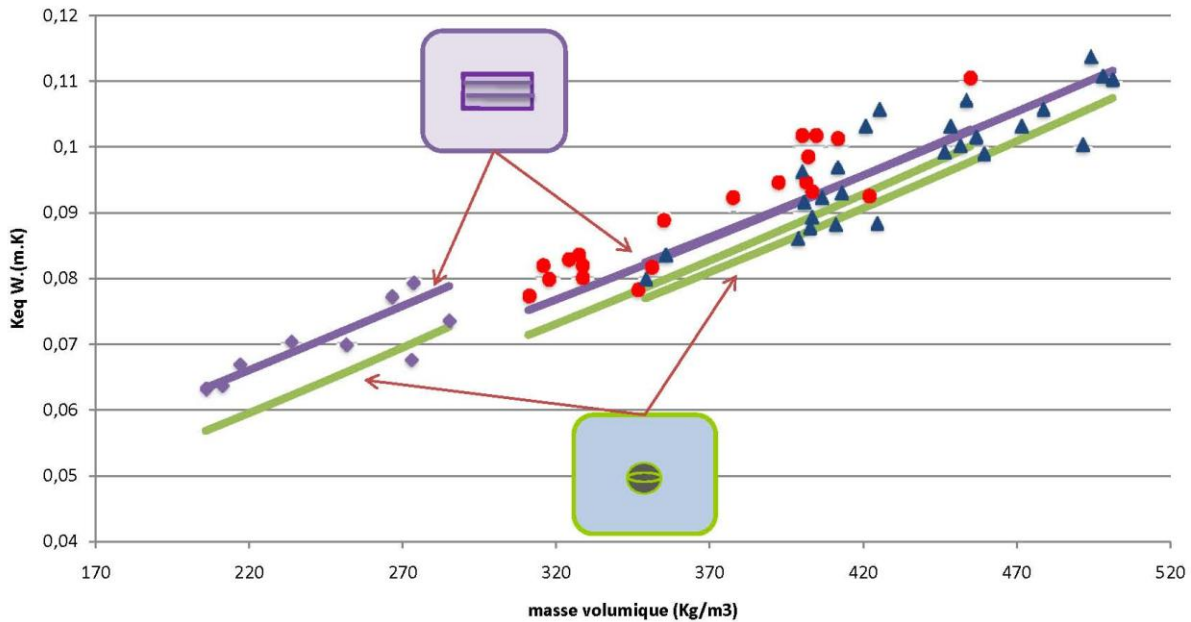
23

* Réf : V. Cérézo thèse 2005, D. Samri thèse 2008

Résultats en triphasé 3D

► Comportement thermique des phases (isotrope):

Comparaison des conductivités équivalentes obtenues experimentalement et numériquement



Inclusion sphérique

- Calculs analytiques et bonne approximation du comportement équivalent,
- Mauvaise représentation morphologique (Champs locaux non exploitables)

24

BILAN ET ETAPES A VENIR

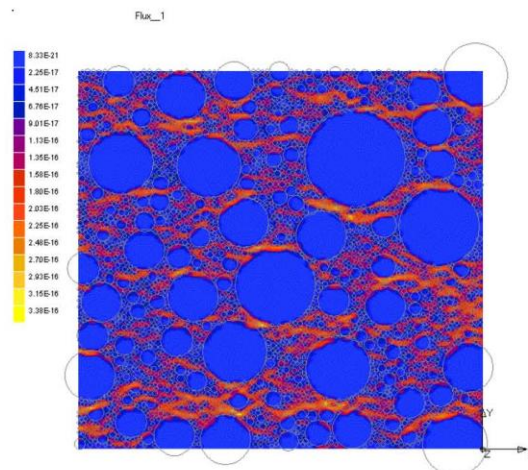
- ✓ Application de la méthode d'homogénéisation itérative pour le calcul du comportement équivalent et les champs locaux au cas du bétons chanvre:
 - Géométrie spécifique des inclusions
 - Prise en compte des orientations par intégration analytique
 - Simulations numériques avec 3 phases et en 3D
- ✓ La morphologie de la microstructure influe très peu sur le comportement moyen.

- ✓ En cours de validation: Exploitation des champs locaux et mise en place d'outils simples

BILAN ET ETAPES A VENIR

✓ A venir :

- Comportement mécanique,
- Couplage thermo-hygro-mécanique,
- Comportements non linéaires (Frédéric Grondin 2005, Salma Smaoui 2007, Quoc-Huy VU 2008),
- Modélisation de la dégradation à l'échelle de la microstructure (Anouar Brini 2004, Rim Zouari 2006, Quoc-Huy VU 2008, Dartois 2008).



Modification de la perméabilité d'un béton suite à une montée en température et dégradation par microfissuration (Frédéric Grondin 2005.)



Colloque Valorisation de sous-produits dans les bétons

BETON DE STRUCTURE A PROPRIETES D'ISOLATION THERMIQUE AMELIOREES : APPROCHE EXPERIMENTALE ET MODELISATION NUMERIQUE

Doctorant: Le Hung Nguyen

Encadrants : Anne-Lise Beaucour
Sophie Ortola
Albert Noumowé

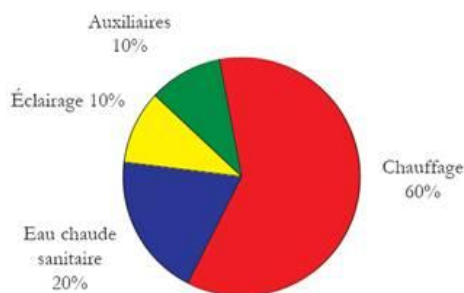
L2MGC – EA4114
Université de Cergy-Pontoise

1

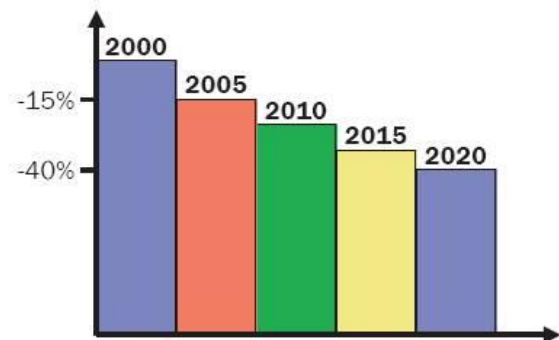
Colloque Valorisation de sous-produits dans les bétons

Objectifs de la réglementation thermique:

- Fixer une limite maximale de consommation énergétique des bâtiments neufs pour les 5 usages : chauffage, éclairage, ventilation, production de l'eau chaude sanitaire et climatisation
- Consommations d'énergie :



Répartition moyenne des consommations d'énergie par poste, en résidentiel (en région parisienne)



Évolution de la consommation moyenne des bâtiments neufs par rapport aux bâtiments RT 2000

Source : www.logement.gouv.fr (9 octobre 2006)

- La réglementation thermique s'applique aux bâtiments neufs et tertiaires (le bâtiment neuf représente chaque année à l'échelle nationale de 1 à 1,5% du parc)

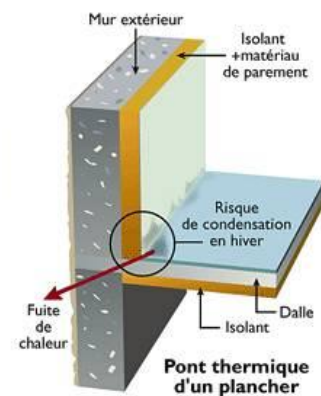
Colloque Valorisation de sous-produits dans les bétons

Orientations de la RT 2005:

- Renforcement des exigences sur le bâti et les équipements par rapport à la RT2000 : diminution des coefficients de transmission (10% pour les parois, 20% pour les ponts thermiques)

$$U_{bât-ref} = \frac{\sum U_i A_i + \sum k_i L_i}{\sum A_i}$$

Déperdition par des parois	U_i (W/m ² K)	Déperdition par des ponts thermiques	Ψ (W/mK)
Paroi verticale	0,36	Plancher bas	0,4
Plancher	0,27 – 0,3	Plancher intermédiaire	0,55
Porte non-vitrée	1,5	Plancher haut	0,5
Porte vitrée	2,1		



- Valorisation des énergies renouvelables et de la conception bioclimatique, réduction des émissions de gaz à effet de serre
- Prise en compte des consommations de refroidissement et d'éclairage tertiaire et résidentiel
- Respect d'un maximum de consommation énergétique par m² de SHON

Colloque Valorisation de sous-produits dans les bétons

Nouvelles perspectives dans la construction (RT 2012) :

- Exigence de performance énergétique globale (plafond global) exprimée en valeur absolue de consommation $C_{max} = 50 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$, en énergie primaire, pour la consommation relative aux 5 usages.

La consommation énergétique est calculée:

$$C = C_{max} \times M_{ctype} \times (M_{cgéo} + M_{calt} + M_{csurf} + M_{cges})$$

Zones climatiques	RT 2005 (Cmax en logement)		RT 2012
	Chauffage par combustibles fossiles	Chauffage électrique	Plafond global
H1	130	250	50
H2	110	190	
H3	80	130	

- Introduction de l'exigence sur les besoins bioclimatiques $Bbio_{max}$.

Le besoin bioclimatique (Bbio), en remplacement du U_{bat} , correspond aux déperditions moins l'apport gratuit.

$$Bbio = Bbio_{max} \times M_{ctype} \times (M_{cgéo} + M_{calt} + M_{csurf} + M_{cges})$$

Colloque Valorisation de sous-produits dans les bétons

Nouvelles perspectives dans la construction (RT 2012) :

- Introduction de nouvelles exigences minimales traduisant des volontés publiques fortes : traitement des ponts thermiques, recours aux énergies renouvelables, traitement de la perméabilité à l'air, etc.
- Introduction d'une exigence d'efficacité énergétique minimale du bâti: isolation thermique renforcée, conception bioclimatique...

→ Imposer la conception d'un bâtiment énergétiquement très haut performant, correspond aux différents niveaux :
HPE, THPE , BBC, BEPOS



- La RT 2012 remplacera la RT 2005 et s'appliquera à toutes constructions neuves à compter de fin 2012.



Colloque Valorisation de sous-produits dans les bétons

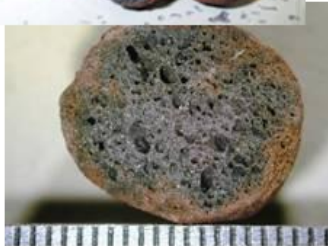
Intérêt des bétons de granulats légers dans une structure à pouvoir isolant renforcé :

- Amélioration du caractère isolant des bétons grâce à la structure poreuse et à la nature amorphe des granulats légers
- Réduction des dimensions des structures portantes et des fondations
- Baisse du coût global de l'ouvrage, en réduisant le volume du béton et le nombre des structures
- Augmentation de la productivité grâce à la réduction de la masse totale de matériaux à manipuler
- Limitation des déchets en fin de vie des ouvrages par des diminutions de volumes de gravats

Colloque Valorisation de sous-produits dans les bétons

Objectifs de l'étude menée au L2MGC:

- Relier les paramètres de formulation aux caractéristiques thermiques et mécaniques des bétons de granulats légers
- Modéliser les comportements thermiques, thermo-hydriques et thermomécaniques des bétons de granulats légers
- Trouver le meilleur compromis entre les performances mécaniques et le pouvoir isolant, en s'appuyant sur les résultats expérimentaux et la modélisation numérique



7

Colloque Valorisation de sous-produits dans les bétons

Matériaux étudiés

Granulats :

- Argiles expansées (ARGEX):
550A 4/10
700A 4/8
- Schistes expansés (GEM)
520S 4/10
530S 4/10 concassé
750S 4/10
- Pierre ponce

Matrices :

- M8 : E/C = 0,446 ; 100% CP
- M10 : E/C = 0,29 ; 90% CP et 10 FS
- M11 : E/C = 0,29 ; 100% CP

Substitution du sable de rivière par du sable léger :

- Fractions : 0, 25, 50, 75, 100%
- Sable léger
650A 0/4 (ARGEX)
955S 0/4 (GEM)
800PP 0/5

Colloque Valorisation de sous-produits dans les bétons

Méthodologie

- Paramètres de formulation :
 - Fraction volumique du sable léger
 - Composition de la matrice
 - Nature des granulats

- Essais :
 - Caractéristiques mécaniques : f_c , E
 - Propriétés thermiques à différentes températures (10, 20 et 50°C) et différentes humidités (sec, 50% et saturé) : λ , C , perméabilité

- Simulation numérique:
 - Techniques d'homogénéisation pour les matériaux hétérogènes, en fonction des constituants, de leurs proportions et de leur interaction
 - Prédiction des comportements thermiques et couplés (thermo-hydrrique, thermomécanique, thermo-hydro-mécanique)



Presse hydraulique



Hotdisk



Perméamètre

La conductivité thermique du béton diminue avec sa masse volumique ...

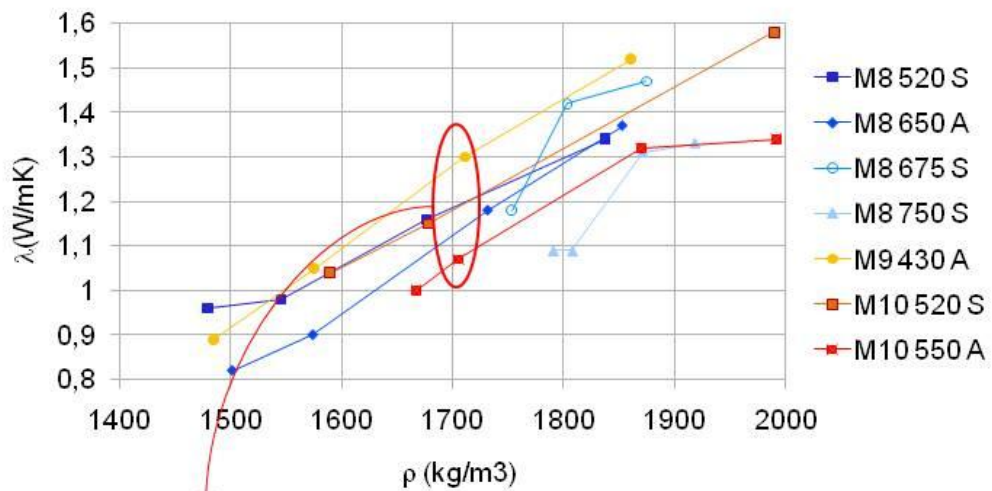
Granulats :

- Argiles expansées
- Schistes expansés

Matrices :

- M8 : E/C = 0,446 ; 100% CP
- M9 : E/C = 0,35 ; 100% CP
- M10 : E/C = 0,29 ; 90% CP et 10 FS

Masse volumique sèche - Conductivité thermique



Pour une même masse volumique, le volume et la nature des granulats influencent la valeur de la conductivité thermique

Colloque Valorisation de sous-produits dans les bétons

... mais la résistance à la compression est liée aussi à la masse volumique des bétons.

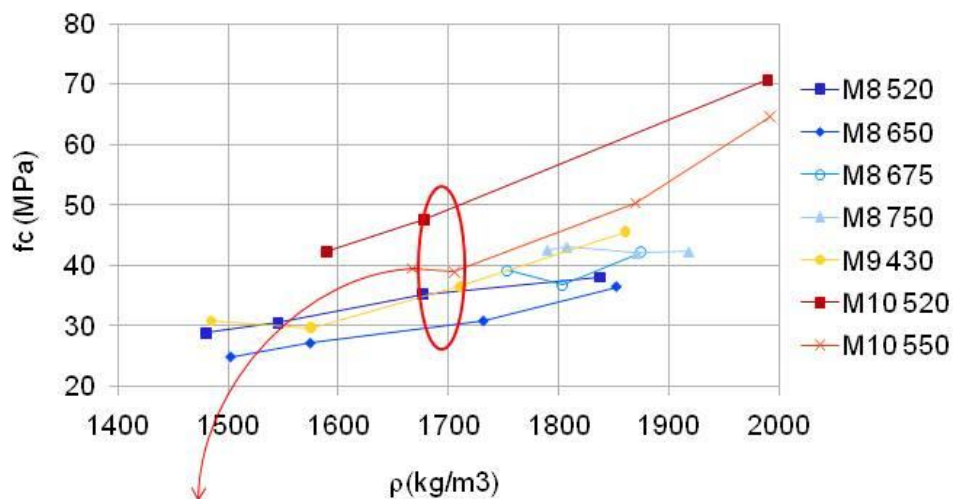
Granulats :

- Argiles expansées
- Schistes expansés

Matrices :

- M8 : E/C = 0,446 ; 100% CP
- M9 : E/C = 0,35 ; 100% CP
- M10 : E/C = 0,29 ; 90% CP et 10 FS

Masse volumique sèche - Résistance à la compression

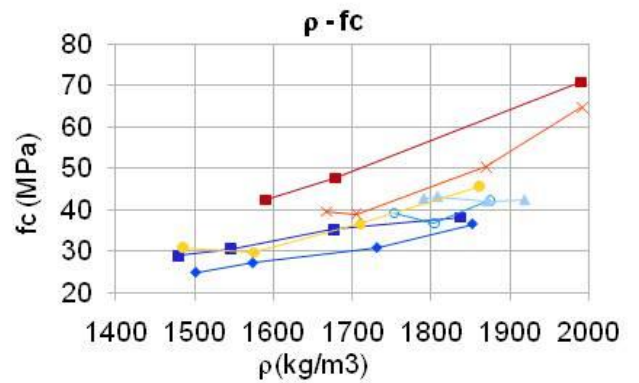
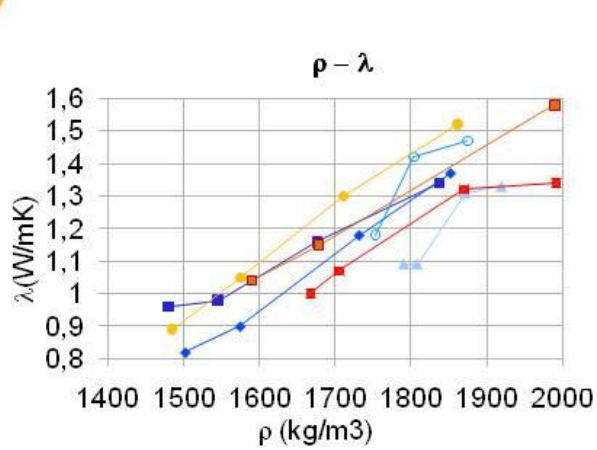


Cependant, pour une même masse volumique, le choix des granulats et de leur volume influencent la résistance à la rupture

Colloque Valorisation de sous-produits dans les bétons

Meilleur compromis entre les propriétés mécaniques et thermiques :

→ Optimiser f_c et λ : f_c plus élevée que possible à λ plus basse que possible



→ Gamme de béton léger visée : 25-35 MPa , $\lambda < 0,8$



Colloque Valorisation de sous-produits dans les bétons

Conclusion et perspectives:

- La résistance à la compression et la conductivité thermique du béton de granulats légers diminuent avec la masse volumique
- Pour une même masse volumique du béton, le volume et la nature des granulats ont une incidence sur les propriétés mécaniques et thermiques du béton
- Dépendance de la conductivité thermique à l'humidité, à la température
- Influence de la fraction du sable léger sur les propriétés mécaniques et thermiques
- La modélisation numérique permet, à partir des propriétés thermiques des granulats, de définir les propriétés thermiques des bétons.



Colloque Valorisation de sous-produits dans les bétons

Merci de votre attention



Semestre thématique
« Matériaux innovants »
Laboratoire de Matériaux et Mécanique du
Génie Civil (L2MGC)

Valorisation des sous-produits dans les bétons et les structures du génie civil

P. Rougeau - 28 Mai 2010

- 
- ✚ Valorisation des matériaux alternatifs dans le BTP et autres secteurs industriels
 - ✚ Diversité croissante au niveau des matériaux étudiés : agro-matériaux, granulats recyclés, fibres de carton, caoutchouc,...
 - ✚ Applications : bitumes, bétons, terres cuites, ...
 - ✚ Les différents paramètres à prendre en compte :
 - régularité des caractéristiques des matériaux alternatifs
 - compatibilité avec les process industriels
 - coût
 - disponibilité (quantité, proximité source/utilisation)
 - impact sur le produit ou l'ouvrage en termes de fonctionnalités, valeur ajoutée (performances mécaniques, thermiques, durabilité, impacts environnementaux, sanitaires,...)
 - normalisation/réglementation

CERIB



- ⚡ Il ne suffit pas d'insérer un déchet ou un agro-matériaux pour avoir in fine un bilan positif :
 - Nécessité d'une approche globale à l'échelle du matériau/produit sur la durée de vie de l'ouvrage
 - Disposer de méthodologies permettant de qualifier les matériaux alternatifs comparativement aux matériaux traditionnels
- ⚡ Plus de sélectivité dans le choix des études
- ⚡ Déroulement des études : étude préliminaire pour valider l'intérêt, étapes, étude de faisabilité à l'échelle industrielle
- ⚡ Rapprochement entre les acteurs : Recherche – Industrie – Réglementation

Liste définitive des participants

Nom	Prénom	Organisme
1 AIT-MOKHTAR	Karim	Université de La Rochelle
2 AGGOUN	Salima	L2MGC / UCP
3 ALJEWIFI	Hana	L2MGC / UCP
4 AMIRI	Ouali	Université de La Rochelle
5 BEAUCOUR	Anne-lise	L2MGC / UCP
6 BEL HADJ ALI	Imen	Ecole Centrale Lille
7 BEN HAMIDA	Abdelwahed	UPMC
8 BODET	Raphael	UNPG
9 CARE	Sabine	LCPC-Navier
10 CHÂTEAU	Laurent	ADEME
11 COMELLI	Didier	LE BLOC
12 COUSTURE	Annelise	L2MGC / UCP
13 DARTOIS	Sophie	UPMC
14 DEVER	Cedric	VALAGRO
15 DIVET	Loïc	LCPC
16 EZZIANE	Karim	L2MGC
17 ELALAOUI	Oussama	L2MGC / UCP
18 FARES	Hanaa	L2MGC / UCP
19 FERCHAUD	Benjamin	LRCCP
20 GHORBEL	Elhem	L2MGC / UCP
21 GEORGE	Luc-Amaury	VECTRA
22 HALLAL	Ahmed	L2MGC
23 HAIDAR	Murhaf	L2MGC / UCP

24	HOUWARD	Nicolas	L2MGC / UCP
25	JACQUEMOT	François	CERIB
26	KACI	Abdelhak	L2MGC / UCP
28	LABRU	Alain	ATILH
29	LEFEVRE	Alain	
30	LOUBES	Valérie	EIFFAGE TP
31	LUBINO	Cinthia	VECTRA
32	MARCEAU	Sandrine	LCPC
33	MARTIN	Bruno	Elastopôle
34	MENENDEZ	Beatriz	GEC / UCP
35	MERDAS	Abdelghani	L2MGC / UCP
36	MOHAMED	Mohamed	L2MGC / UCP
37	MOM	Sophanarith	UPMC
38	NGUYEN	Le Hung	L2MGC / UCP
39	NOUMOWE	Albert	L2MGC / UCP
40	ORTOLA	Sophie	L2MGC / UCP
41	PAVOINE	Alexandre	LCPC
42	PERRIN	Bernard	LMDC/TOULOUSE
43	PLIYA	Prosper	L2MGC / UCP
44	RENAULT	Norbert	L2MGC / UCP
45	ROBERT	Fabrice	LESCUYER
46	ROUGEOT	Patrick	CERIB
47	VAN SCHOORS	Laetitia	LCPC
48	WARDEH	George	L2MGC / UCP
49	WATERBLEZ	Olivier	EUROVIA
50	XING	Zhi	L2MGC / UCP