

# Classification des GTLH calcaires et propriétés intrinsèques des gravillons

Jean VOIRIN  
Didier DESMOULIN

Laboratoire Screg-Est, Nancy

André LECOMTE

Université Henri-Poincaré Nancy 1

## RÉSUMÉ

Une synthèse de plusieurs études de formulation de GTLH calcaires avec des gravillons de catégories C à F est présentée. Les résultats montrent qu'il n'y a pas de corrélation franche entre les performances des mélanges et les propriétés intrinsèques des gravillons calcaires, les classes G2 et G3 habituellement visées étant atteintes avec les différents granulats (F compris). Seule la nature du liant routier modifie la plage des performances possibles, à l'avantage des produits « spécifiques » aux calcaires. Ces résultats vont à l'encontre des prescriptions de la norme NF P 98-116, qui écarte les gravillons F jugés trop « tendres ». Elles confortent en revanche le guide d'application, qui laisse la possibilité d'utiliser des matériaux « hors norme » si l'expérience s'avère positive. Parallèlement, la résistance à la traction d'une GTLH calcaire contenant un taux croissant de liant a été comparée à la résistance à la traction de la roche mère. On montre que ce dernier paramètre peut constituer, pour les calcaires, un critère de sélection alternatif aux essais Los Angeles (LA) et Micro-Deval (MDE) habituels.

DOMAINE : Route.

## ABSTRACT

CLASSIFICATION OF LIMESTONE "GTLH" MIXES AND THE INTRINSIC PROPERTIES OF AGGREGATES

A summary of several studies of limestone "GTLH" mix designs, including category C through F aggregates, is presented herein. Results reveal the lack of decisive correlation between the performance of the mixes and the intrinsic properties of the limestone aggregates, as the G2 and G3 categories typically targeted had been achieved with the various aggregates (including F). Only the nature of the road binder serves to modify the range of potential performance, to the benefit of "specific" limestone products. These results tend to contradict the prescriptions stipulated in Standard NF P 98-116, which eliminates the F-category aggregate on the grounds of being too "soft". In contrast, they lend support to the application guide, which accounts for the possibility of using "non-standard" materials should the experiment prove positive. In conjunction with these findings, the tensile strength of a limestone "GTLH" containing an increasing concentration of binder was compared with the tensile strength of the parent rock. It is shown that this particular parameter may constitute, for limestones, an alternative selection criterion to the more common Los Angeles (LA) and Micro-Deval (MDE) tests.

FIELD: Roads.

## INTRODUCTION

Les performances mécaniques requises pour les graves traités aux liants hydrauliques ou GTLH, en termes de résistance à la traction directe  $R_t$  et de module de rigidité  $E$ , sont assez facilement atteintes avec des granulats de qualité courante. De nombreux matériaux locaux – *i.e.* certains calcaires « tendres » par exemple – ou recyclés peuvent être ainsi utilisés dans ces mélanges. La norme dédiée à ces produits (NF P 98-116 [1]) écarte toutefois les gravillons de catégorie F\*, sans qu'il soit fait référence à la nature minéralogique des grains. Le guide d'application des normes chaussées du SETRA/LCPC [2] précise pour sa part que « des assouplissements peuvent être envisagés, sous réserve que les granulats aient fait l'objet de plans d'expérimentation rigoureux susceptibles d'évaluer les risques encourus avec précision ». Il est donc potentiellement possible de mettre en œuvre dans ces produits certains granulats de résistance mécanique peu élevée.

\* Rappel : les catégories intrinsèques des gravillons sont actuellement fixées par la norme XP P 18-540, sur la base des essais Los Angeles et Micro-Deval bien connus. F implique  $LA > 45$ ,  $MDE > 45$ ,  $LA + MDE > 80$ .

On a pu montrer par ailleurs que les coefficients de correspondance utilisés pour l'extrapolation à 360 jours des performances des GTLH dépendaient étroitement de la nature des grains et du liant utilisé [3]. En particulier, les calcaires présentent bien souvent des coefficients supérieurs à ceux annoncés par la norme [1], en présence des liants routiers notamment.

Cette étude complète les travaux auxquels il est fait référence précédemment [3]. Elle se propose de rapprocher les performances mécaniques de diverses GTLH calcaires des propriétés intrinsèques des gravillons utilisés. La résistance à la traction et le module d'élasticité des mélanges sont comparés également aux valeurs de Los Angeles et de MDE des gravillons. La plage de performance couverte par les GTLH réalisées va de G1 à G4\*. Les catégories de gravillons vont de B/C à F. Les données sont issues du laboratoire Screg Est de Nancy qui dispose d'un certain nombre de résultats d'études réalisées avec des calcaires exploités dans la grande région Est de la France\*\*.

Aucune tendance franche n'a été observée. Des essais fondés sur la mesure de la résistance à la traction par fendage d'une série de mélanges dosés à un taux croissant de liant donnent une indication sur le comportement mécanique des mélanges. Par comparaison avec la résistance de la roche, cette approche permet de sélectionner les matériaux pouvant conduire à des performances de GTLH satisfaisantes.

## ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

### Rappel des principes de formulation des GTLH

La méthodologie d'étude en laboratoire d'une GTLH est précisément définie par la norme NF P 98-114-1 [4]. Rappelons brièvement qu'il faut réaliser dans l'ordre :

1. un prélèvement conforme des granulats sur stocks en carrières ;
2. l'identification des échantillons prélevés. Les essais pratiqués servent à déterminer les propriétés intrinsèques (LA, MDE) et de fabrication (granulométrie, aplatissement, propreté). Le référentiel de la classification est la norme granulats XP P 18-540 [5], article 7 ;
3. la formulation de mélanges expérimentaux, selon la norme NF P 98-116. La granularité du mélange solide (liant compris) doit se situer de préférence dans le fuseau I de la norme (plus forte compacité) ;
4. une étude Proctor. Cette phase permet de déterminer la teneur en eau optimale. Les résultats servent aussi à fixer l'objectif de compactage des corps d'épreuves ;
5. la réalisation des corps d'épreuves (éprouvettes « diablo » et éprouvettes cylindriques). Le mélange est gâché dans un malaxeur approprié. Les éprouvettes sont moulées par vibrocompression (VCEV) ;
6. la mise en cure des éprouvettes (moules étanches et température de  $20 \pm 2$  °C) jusqu'à l'échéance des essais ;
7. la détermination du module de rigidité (E) et de la résistance à la traction (Rt) à l'aide d'une presse de traction couplée à un extensomètre, comme illustrée sur la figure 1.

Pour une même étude, plusieurs liants et plusieurs dosages sont généralement testés, pour répondre aux spécifications techniques et/ou économiques requises ou pour apprécier les performances possibles (catalogue ou appel d'offres).

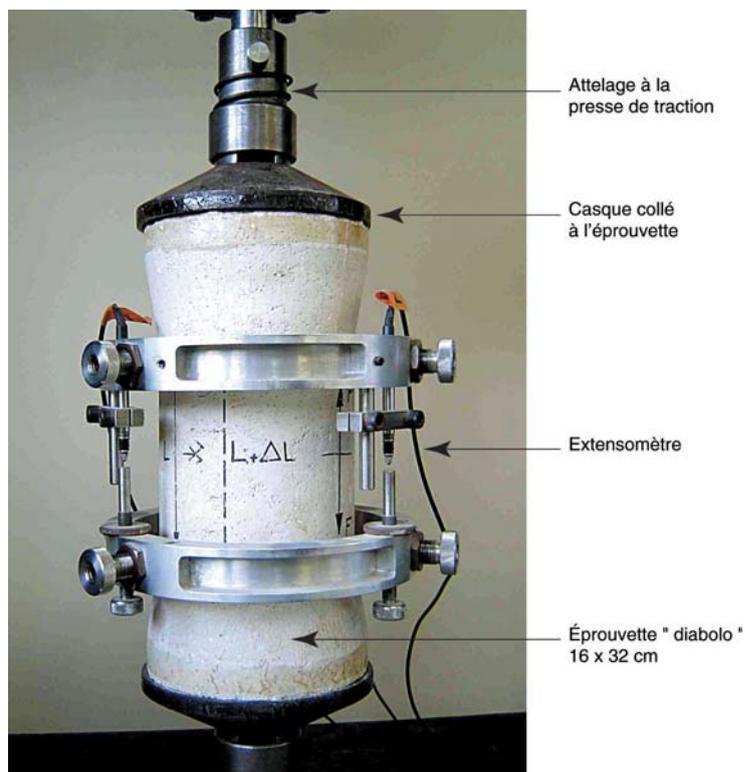
### Matériaux

Six granulats calcaires d'origine différente ont été utilisés dans cette étude. Ils proviennent de diverses carrières alluvionnaires ou massives implantées dans l'Est de la France. Une description sommaire de la nature pétrographique de ces roches est donnée dans le tableau I.

Les propriétés intrinsèques de ces granulats, en terme de coefficients Los Angeles (LA) [6] et Micro-Deval (MDE) [7], sont présentées dans le tableau II. Leur catégorie, définie par référence à la norme XP P 18-540/article 7, apparaît sur la figure 2. Elle évolue de B/C à F. Les « meilleurs » matériaux sont le plus souvent d'origine alluvionnaire alors que les plus « tendres » proviennent des carrières

\* Rappel : les performances mécaniques à 360 jours des GTLH sont classées en quatre classes, selon la position de leur point représentatif dans le diagramme E, Rt.

\*\* Les travaux de la référence [3] sont déjà issus de la base de données du laboratoire Screg-Est.



□ **Figure 1**

Mesure du module de rigidité  $E$  et de la résistance à la traction  $R_t$  d'une GTLH sur éprouvette « diabolo ».

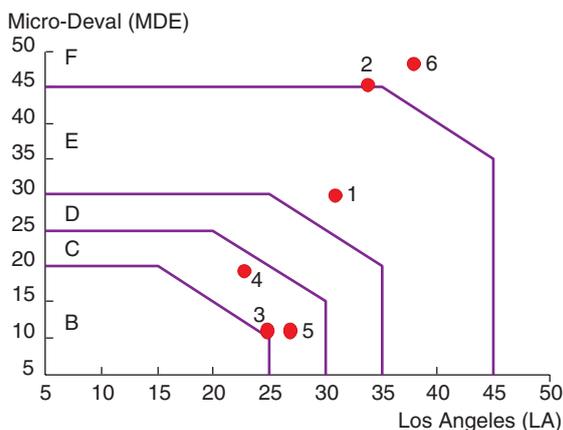
**TABLEAU I**  
Origine et pétrographie sommaire des granulats calcaires de l'étude

Carrière	Gisement	Pétrographie sommaire
1	Roche massive	Calcaires à polypiers, à entroques et oolithique
2	Roche massive	Calcaires oolithiques et coquilliers
3	Alluvionnaire	Silico-calcaire à dominante calcaire (alluvions de la Saulx)
4	Roche massive	Calcaires oolithiques avec polypiers
5	Alluvionnaire	Silico-calcaire à dominante calcaire (alluvions de la Marne)
6	Alluvionnaire	Silico-calcaire à dominante calcaire (alluvions de la Vesle)

**TABLEAU II**  
Caractéristiques intrinsèques des granulats  
(Valeurs moyennes contemporaines aux études des GTLH)

Carrière	LA	MDE	Catégorie (P 18-540)
1	33	32	E
2	34	45	E/F
3	25	11	B/C
4	23	19	C
5	27	11	C
6	38	48	F

**Figure 2**  
Classification des granulats calcaires  
de l'étude, au regard de la  
norme XP P 18-540 / article 7.



massives où l'on ne pratique généralement pas d'exploitation sélective. Notons que les mesures ont été réalisées sur les fournitures de granulats qui ont servi à la fabrication des éprouvettes de GTLH, pour limiter les incertitudes. De même, les mélanges ont été formulés avec un seul type de gravillon bien que, parfois, deux ou plusieurs granulats de diverses origines soient mélangés, pour améliorer l'indice de concassage IC ou pour corriger la granularité.

Sept liants hydrauliques routiers ont été utilisés pour confectionner les mélanges, à des dosages compris dans la fourchette habituelle adoptée pour ces produits (entre 3 et 6 %). Leurs appellations et leurs compositions qualitatives sont présentées dans le tableau III. Leurs caractéristiques détaillées peuvent être trouvées dans les fiches descriptives fournies par les producteurs.

**TABLEAU III**  
Composition de base des liants hydrauliques utilisés dans cette étude

Appellation commerciale		Arc 3	Arc*	Arc GS**	Ligex 2R	PRV A***	PRV H	Roc AS
Constituants	Laitier HF	X	X	X	X	X	X	X
	Chaux vive	X			X	X		
	Gypse/Anhydrite	X	X	X	X	X	X	X
	Clinker		X				X	X
	Cendres volantes					X		
	Fillers						X	

\* Les liants Arc 4 et Roc AS sont équivalents et sont dorénavant proposés sous l'appellation unique Roc AS.

\*\* Liant actuellement remplacé par LSC+.

\*\*\* Liant actuellement remplacé par PRV H.

## Résultats et interprétation

Le tableau IV présente les résultats obtenus pour les différents matériaux (carrières). Pour chaque formule, le type de liant et son dosage sont donnés, ainsi que les performances à 360 jours. Ces performances ont été soit mesurées à 360 jours, soit extrapolées des valeurs mesurées à 60 jours. Dans le premier cas, la résistance affichée résulte du lissage de toutes les mesures réalisées durant la cure (lissage semi-logarithmique). Dans le second cas, les valeurs ont été extrapolées à partir des coefficients de correspondances déterminés expérimentalement [3], rappelés dans le tableau V. Les valeurs de résistance à la traction (Rt) présentées ont toutes été mesurées sur éprouvettes diabolo. Notons par ailleurs que les mélanges ont été formulés de sorte que leur spectre granulaire se situe autant que possible au centre du fuseau I de la norme NF P 98-116. De même, les indices de concassages IC sont toujours égaux à 100, excepté pour la formule de la carrière 6 (IC = 30).

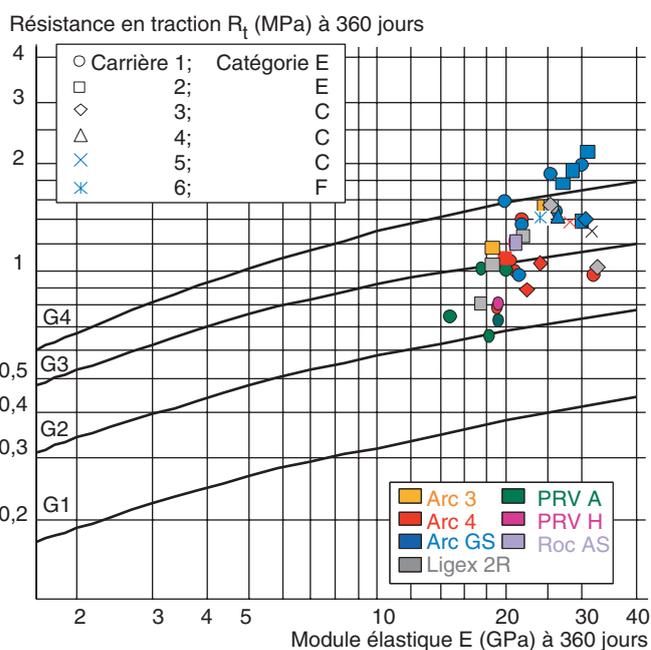


**TABLEAU V**  
**Rappel des coefficients de correspondances proposés par Voirin et al. [3]**

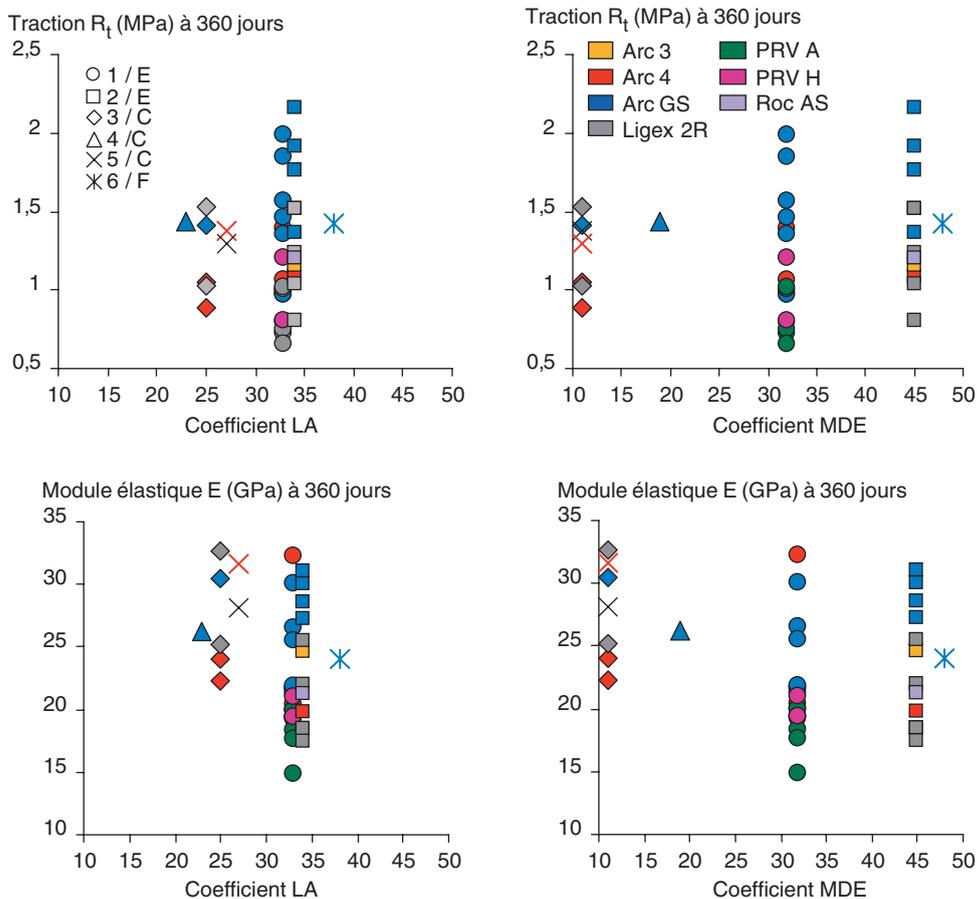
	Graves traitées aux liants routiers (GTLR)				Sables traités aux liants routiers (STLR)				Graves traitées au ciment (GC)				
Guide d'application	0,65 (60 j)				0,65 (60 j)				0,60 (28 j)				
Étude	0,74 (0,10)*				0,69 (0,10)				0,72 (0,16)				
Gisement	Massif		Alluvions		Massif		Alluvions		Massif		Alluvions		
	Granulats	Calcaire	Calcaire	Siliceux** + Calcaire	Calcaire	Siliceux** + Calcaire	Calcaire	Siliceux** + Calcaire	Siliceux	Calcaire	Calcaire	Siliceux	
Liants	Ligex 2R	0,82 (0,07)		0,70 (0,06)		0,76 (0,07)							
	Roc As	0,77 (0,06)		0,71 (0,11)		0,68 (0,05)							
	Arc GS	0,78 (0,09)		0,73 (0,12)		0,65 (0,05)		0,67 (0,03)					
	Arc 3	0,72 (0,04)								0,61 (0,03)			
	Arc 4	0,79 (0,08)											
	PRV A	0,66 (0,07)		0,67 (0,04)		0,65 (0,05)							
	CLK									0,73 (0,18)		0,78 (0,07)	0,56 (0,06)
	Tous liants confondus	0,77 (0,09)		0,71 (0,09)	0,63 (0,05)	0,71 (0,10)		0,67 (0,03)	0,64 (0,07)	0,61 (0,03)			

\* Les valeurs entre parenthèses sont les écarts-types sur les coefficients.

\*\* Ces granulats sont issus de sablons.



□ **Figure 3**  
 Classification mécanique des GTLR calcaires, selon NF P 98-116.



□ **Figure 4**

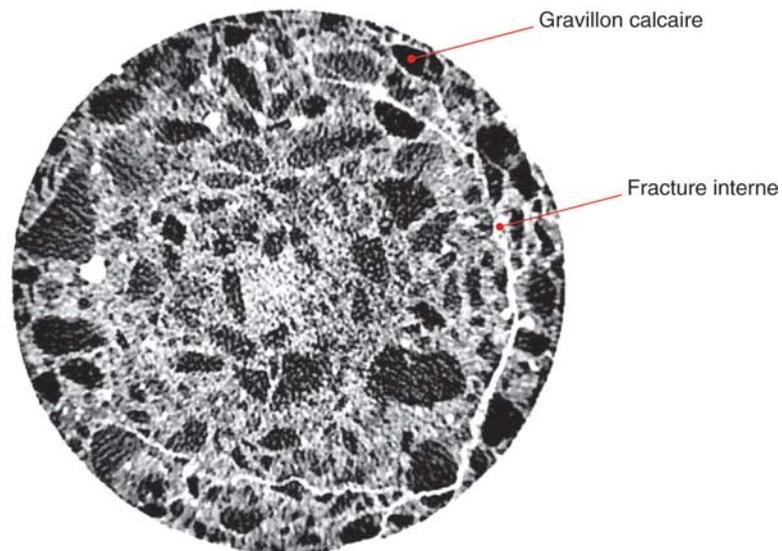
*Relations entre les propriétés intrinsèques des gravillons calcaires et les performances des GTLH.*

puisque de bonnes performances en traction et en module sont obtenues avec des gravillons de coefficients LA et/ou MDE élevés. On notera enfin que la plage de performance des matériaux issus des carrières est plus ouverte que celle des matériaux d'origine alluvionnaire (sans prise en compte du nombre de formules réalisées avec chaque type de matériaux).

L'observation des plans de fracture révèle par ailleurs que les gravillons calcaires sont majoritairement cassés en présence de liants performants (Arc GS par exemple), surtout s'ils sont d'origine massive, alors que les granulats sont déchaussés avec d'autres liants. On attribue ce comportement à la bonne adhérence (physique, chimique) entre les gravillons et la matrice liante (pâte + fillers), adhérence qui renforce le « verrouillage naturel » de l'empilement des grains anguleux et rugueux. Comme signalé plus haut, le plus faible contraste des modules élastiques, entre matrice et gravillons, par rapport à des gravillons « durs », joue probablement aussi un rôle. Le plan de fracture traverse indifféremment les différentes phases du composite, montrant un comportement mécanique assez comparable à celui d'un matériau homogène et isotrope. La figure 5 illustre ce propos. Elle présente l'image d'une éprouvette épuisée de béton maigre à base de matériaux de la carrière 1 et de liant Arc GS. Cette image a été réalisée avec un tomodensitomètre « Somatom Plus 4 Siemens » (ou scanner médical). La fracture suit une trajectoire induite par le champ de contrainte, sans contourner les grains calcaires.

Ces résultats incitent donc à prendre en compte la nature pétrographique des gravillons dans les spécifications des GTLH, puisque les grains calcaires « tendres » permettent finalement d'obtenir des performances intéressantes. D'ailleurs, une synthèse du chantier de l'autoroute A31 (Lorraine-Bourgogne) [8] signalait déjà, il y a plus de vingt ans, que des calcaires oolithiques et à polypiers du Bajocien lorrain, localement friables et gélifs ( $IG \approx 70$ ), en limite de spécification, donnaient une grave-laitier non gélive et mécaniquement performante. La couche de fondation réalisée avec cette GTLH donne encore satisfaction aujourd'hui. La formule proposée par les auteurs était : granulats donnés

□ **Figure 5**  
 Coupe (tomodensitomètre)  
 d'une éprouvette 16 x 32 de béton  
 calcaire maigre (carrière 1)  
 épuisée en compression.



+ formulation adaptée = grave-laitier normale. Cet exemple, qui a permis « d'économiser » les ressources alluvionnaires locales, anticipait les propos du guide d'application des normes pour le réseau routier national...

Rappelons par ailleurs que le traitement des calcaires aux liants hydrauliques améliore leur résistance au gel (fait souvent constaté), y compris pour les faciès les plus tendres (craies, par exemple).

Les caractéristiques intrinsèques n'étant apparemment pas discriminantes pour les calcaires utilisés en techniques de chaussées, une relation entre les performances mécaniques à la traction des mélanges et de la roche a alors été recherchée.

## Prévision des performances à partir de la résistance de la roche à la traction

On relate ici une expérience réalisée avec les matériaux calcaires de la carrière 2 (classés E/F). Un sable 0/5 et un gravillon 5/16 ont été mélangés au liant routier LSC +, à des taux croissants de 4, 8, 12, 16 et 20 % de la masse totale du mélange sec. Ce liant, destiné aux matériaux calcaires, remplace aujourd'hui Arc GS. Dans ces mélanges, le volume de gravillon a été gardé constant et une partie du sable a été substitué par le liant, pour rester dans le fuseau de spécifications. La granularité des mélanges est donnée dans le tableau VI. Des éprouvettes cylindriques 10 x 20 cm ont été moulées par vibrocompression, en adoptant la « consistance » de la référence Proctor modifiée des formules à faible dosage en liant. Pour les forts dosages, la quantité d'eau a été ajustée de façon à retrouver cette consistance caractérisée par le comportement du mélange soumis au même nombre de chocs entre deux plaques de plexiglas. Les dosages en eau sont indiqués dans le tableau VI. Les éprouvettes ont été sollicitées au fendage après 60 jours de cure. Les résistances moyennes à la traction obtenues ( $R_{tb_{60}}$ ) sont également indiquées dans le tableau VI, avec les valeurs de traction directe extrapolées à 360 jours ( $R_{t_{360}}$ ), selon la relation :

$$R_{t_{360}} = 0,80 \frac{R_{tb_{60}}}{0,78} \quad (1)$$

où

- 0,80 est le rapport usuel entre traction directe et fendage [3],
- 0,78 est le coefficient de correspondance pour une GTLH à base de calcaire massif et d'Arc Gs (cf. tableau V).

Le graphique de la figure 6a montre l'évolution de  $R_{t_{360}}$  en fonction du taux de liant. On constate que la résistance augmente « rapidement » jusqu'à 8 % de liant, puis « stagne » ensuite.

Par ailleurs, la résistance à la traction par fendage de la roche a été mesurée sur plus d'une dizaine des carottes cylindriques de diamètre 54 mm et de longueur 50 à 70 mm, prélevées *in situ* selon les directions perpendiculaires ou parallèles à la stratification. Notons que deux faciès « gris » et

**TABLEAU VI**  
**Granularité (passants), teneur en eau et résistances des différents mélanges**

	% de liant	4	8	12	16	20
Ouverture de tamis (mm)	20	100	100	100	100	100
	16	99	99	99	99	99
	14	94	94	94	94	94
	12,5	88	88	88	88	88
	10	80	80	80	80	80
	8	69	69	69	69	69
	6,3	57	57	57	57	57
	5	47	48	48	48	48
	4	43	43	44	44	45
	3,15	39	40	41	42	43
	2	34	36	37	38	40
	1	30	31	33	35	37
	0,5	26	28	30	32	34
	0,315	22	25	27	30	32
	0,2	18	21	24	27	30
0,08	13	16,5	19,7	23	26,3	
Teneur en eau (ppc)		7,5	8,4	9	9,5	9,7
Rtb (MPa) à 60 j		1,77	2,79	2,96	3,19	3,27
Rt (MPa) à 360 j		1,82	2,86	3,04	3,27	3,35

« jaune » sont présents dans la formation (et dans les granulats). Leur résistance moyenne en traction directe a été obtenue par application du coefficient 0,80 sur les valeurs de fendage. De plus, cette résistance a été pénalisée par un coefficient d'effet d'échelle [9] estimé à 0,95, pour tenir compte de la différence de taille\* entre éprouvettes de roche et de GTLH. La relation est la suivante :

$$R_t = 0,80 \cdot 0,95 \cdot R_{tb} = 0,76 \cdot R_{tb} \quad (2)$$

Les valeurs obtenues sont assez contrastées : celle du faciès gris est de 4,3 MPa (écart-type 0,83) et celle du faciès jaune est de 2,8 MPa (écart-type 0,33).

Le pourcentage de chaque faciès dans les mélanges a été déduit du comptage des gravillons (taille supérieure à 4 mm) sur les plans de fracture. Il est d'environ 30 % pour le faciès gris et de 70 % pour le faciès jaune. L'observation des plans de fracture montre aussi qu'il n'y a pas de déchaussements des grains, quel que soit le faciès et le dosage, ce qui prouve la bonne affinité entre matrice et granulats. La résistance moyenne des gravillons, calculée par simple pondération entre résistance et pourcentage de chaque faciès, est reportée sur la figure 6a (ligne bleue), avec l'écart-type moyen calculé selon les lois de la statistique. On constate que la résistance à la traction du composite atteint, puis dépasse celle du granulat, lorsque le dosage en liant augmente.

Au-delà de 12 %, le dosage en liant rejoint celui des bétons hydrauliques, pour lesquels un comportement analogue est décrit à la compression [10]. En effet, dans ces matériaux, si la résistance de la matrice devient prépondérante sur celle des granulats (grâce à des rapports e/c faibles), la résistance à la compression du composite peut dépasser celle du granulat. Le modèle théorique avancé est celui de la sollicitation « en parallèle » des deux phases (matrice et granulat). Par ailleurs, pour une résistance de matrice donnée, la résistance du composite se trouve aussi renforcée si l'adhérence pâte-granulat est bonne. C'est la nature triaxiale des contraintes dans la matrice liante confinée qui explique ce surcroît de résistance à la compression. En « transposant » ces deux modèles à la traction – approche

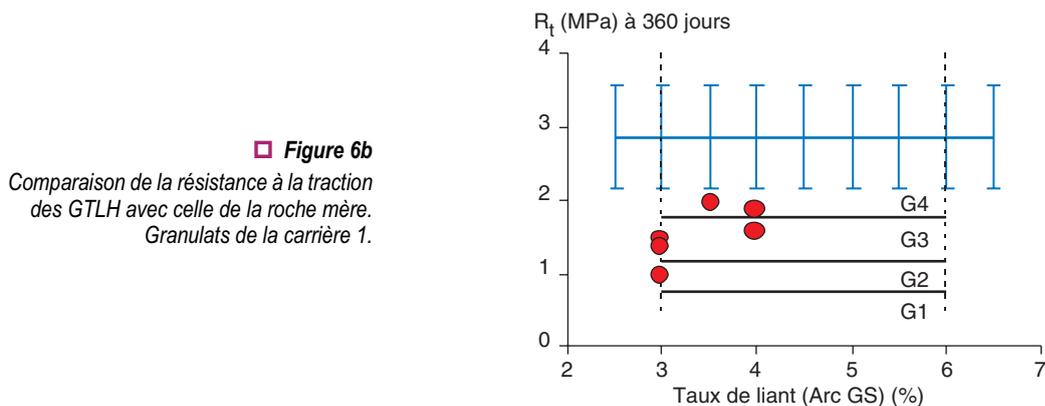
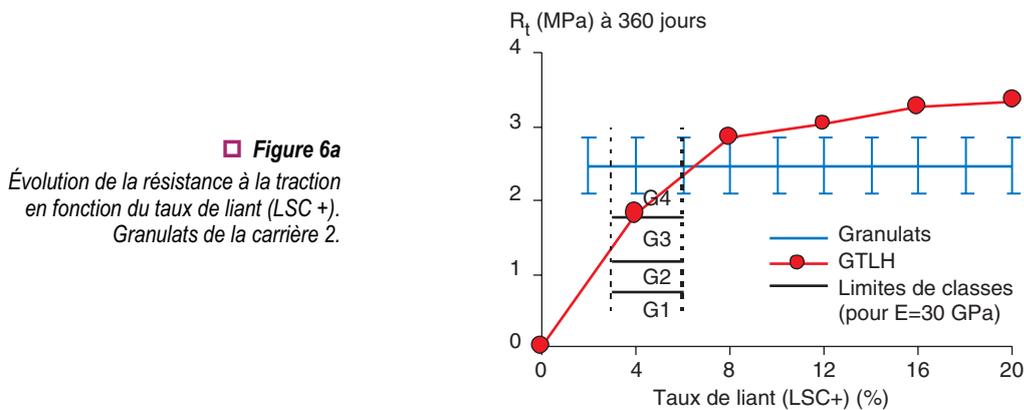
\* La résistance à la traction est d'autant plus amplifiée que les corps d'épreuves sont petits.

justifiable compte tenu des relations existant entre les deux types de contraintes [10] – le dépassement de la résistance des gravillons calcaires est alors interprétée comme la combinaison de la résistance élevée de la matrice (due aux rapports e/c faibles obtenus sans ajout substantiel d'eau, cf. tableau VI) et de la bonne adhérence entre matrice et grains.

On remarque toutefois (cf. Fig. 6a) que le taux de liant nécessaire pour dépasser la résistance des gravillons est supérieur au dosage maximal préconisée pour une GTLH, soit 6 %. En d'autres termes, pour les dosages habituels en liant (compris entre 3 et 6 %), c'est la résistance à la traction du gravillon qui reste le facteur limitant des GTLH calcaires. Dans le cas présent, comme cette résistance est supérieure à la résistance requise pour les différentes classes de performances (figurées par des traits noirs sur la figure 6a, pour un module moyen E de 30 GPa), il est donc « normal » que les classes G3 et G4 soient atteintes, en ajustant simplement le dosage en liant (approprié aux calcaires).

Ce résultat amène à proposer la sélection des granulats calcaires destinés aux GTLH par la résistance moyenne à la traction de la roche d'où sont issus les matériaux\*. Si cette résistance est supérieure à la limite minimale de la classe visée, on pourra en principe toujours obtenir cette classe en ajustant le dosage du liant spécifique sélectionné.

À titre d'exemple, cette approche a été appliquée aux matériaux de la carrière 1, classés E, qui comporte plusieurs faciès calcaires différents. La résistance à la traction directe des diverses roches mères, mesurée sur le même type de carottes que précédemment, a été déduite des résistances au fendage selon la relation 2. Elle est en moyenne de 2,85 MPa. L'écart-type élevé de 0,70 s'explique par la présence des différents faciès. Cette résistance est comparée à la  $R_{tb_{360}}$  des six formules de GTLH réalisées avec Arc GS (cf. tableau IV), liant de nature comparable à LSC+. Les résultats sont reportés sur la figure 6b. On vérifie bien que la résistance à la traction de la roche calcaire est suffisante pour donner des GTLH de classes G2 à G4, avec 3 et 4 % de liant seulement.



\* Il faut cependant pouvoir accéder à la roche mère, ce qui limite le principe aux carrières massives.

## CONCLUSION

Cette étude cherchait à établir des comparaisons entre les performances (E, Rt) d'une quarantaine de GTLH calcaires et les caractéristiques intrinsèques (LA, MDE) des gravillons utilisés. Elle montre finalement que la qualité mécanique normative des granulats calcaires ne constitue pas un facteur limitant des performances de ce type de produit, puisque les classes G2/G3, voire G4, sont obtenues avec les différents gravillons testés, y compris ceux classés F. Une granularité centrée dans le fuseau de spécification et l'emploi d'un liant approprié explique les « bonnes » performances obtenues dans le cas présent. Le faible contraste entre les modules d'élasticité de la roche « tendre » et de la matrice liante, ainsi que la bonne adhérence matrice gravillon, améliorent la résistance à la traction des mélanges, qui sont mécaniquement plus homogène. Ce comportement, plutôt spécifique aux matériaux calcaires, n'est pas pris en compte par la norme NF P 98-116 actuelle, qui ne distingue pas la nature des grains.

Ce résultat ouvre des perspectives d'utilisation de certaines ressources minérales calcaires jusqu'ici écartées pour les corps de chaussées (en Lorraine notamment), afin de préserver les ressources (alluvionnaires) de meilleures qualités pour des usages plus nobles, conformément au concept actuel du développement durable.

Enfin, la recherche des performances maximales en traction de plusieurs GTLH calcaires contenant le même gravillon peu résistant et une quantité croissante de liant montre que la résistance de la roche contrôle celle de ces produits. La mesure de cette propriété paraît alors mieux adaptée que les essais Los Angeles et Micro-Deval pour sélectionner les matériaux calcaires destinés à la fabrication des GTLH.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] AFNOR, NF P 98-116, *Graves traitées aux liants hydrauliques*, 2000.
- [2] SETRA, LCPC, *Assises de chaussées. Guide d'application des normes pour le réseau routier national*, 1998.
- [3] VOIRIN J., DESMOULIN D., LECOMTE A., Prédiction de la résistance à long terme de mélanges routiers traités aux liants hydrauliques, *Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées*, 231, 2001, pp. 3-16.
- [4] AFNOR, NF P 98-114-1, *Méthodologie d'étude en laboratoire des matériaux traités aux liants hydrauliques*, 1992.
- [5] AFNOR, NF XP P 18-540, *Granulats – Définitions, conformité, spécifications*, 1997.
- [6] AFNOR, NF P 18-57, *Granulats – Essai Los Angeles*, 1990.
- [7] AFNOR, 1990, NF P 18-572, *Granulats – Essai d'usure Micro-Deval*.
- [8] CAMUT J., CAUSERO L., l'autoroute A31, section Toul-Montigny-le-Roy, *Laitiers de hauts fourneaux*, 55/1, 1984, pp. 20-39.
- [9] ROSSI P., WU X., LE MAOU F., BELLOC A., Scale effect in concrete in tension, *Materials and structures*, vol. 27, 1994, pp. 437-444.
- [10] De LARRARD F., traduit de l'anglais par Lecomte A., *Structures granulaires et formulation des bétons*, Études et Recherches du LCPC, OA 34, 2000, 414 pages.