

---

# Caractérisation géotechnique des matériaux basalte, quartzite, silexite, calcaire et grès

---

## Introduction

Les granulats sont le constituant de base de tous travaux de Génie Civil. Il est donc important de maîtriser l'ensemble de leurs propriétés (et influences) ; tant du point de vue de leurs élaborations, que de leurs utilisations (mise en œuvre) ; et ce, afin de maîtriser au mieux le coût tout en respectant des critères de qualité.

La genèse des gisements conditionne les propriétés intrinsèques (résistance, porosité, etc.) des granulats. Par contre, les caractéristiques géométriques (granularité, forme, etc.) et de propreté sont fonction du processus d'élaboration.

Dans ce chapitre, il s'agira de caractériser les granulats selon les normes NF EN 933-1, NF EN 933-3, NF P 18 540, NF EN 933-8, NF EN 933-9+A1, NF EN 1097-3, NF EN 1097-6, NF EN 1097-1 et NF EN 1097-2.

### 1.1. Essai d'évaluation de la quantité d'éléments calcaires présents dans le silexite

Cet essai consiste à évaluer la quantité d'éléments calcaires présents dans un échantillon de silexite 8/16 donné.

On effectue une pesée de trois kilogrammes de silexite 8/16. Par triage manuel, on sélectionne les éléments calcaires et on rapporte leur masse par 3 kg (masse totale silexite 8/16 + éléments calcaires). On répète cette opération à cinq reprises et on calcule la moyenne.

Le tableau ci-après (Tableau 11) nous donne les résultats obtenus.

Tableau 11: Pourcentage d'éléments calcaires présents dans un échantillon de silexite 8/16

Masse silexite 8/16 (g)	Masse éléments calcaires (g)	Pourcentage éléments calcaires (%)
3000	620	21
3000	612	20
3000	700	23
3000	624	21
3000	632	21
Moyenne		21

Ces résultats montrent que dans un échantillon de silexite 8/16, il y a environ 21 % d'éléments calcaires. En effet, les silexites sont des roches hypersiliceuses se présentant sous forme de rognons ou groupées en passés plus ou moins horizontaux dans les niveaux phosphatés de la région de Taïba. Ces niveaux phosphatés se sont formés à partir du Paléocène pour se développer ensuite à la base de l'Eocène. De l'Oligocène au Mio-Pliocène, une émergence des couches provoque une forte altération. Cette altération de type latéritique a provoqué la formation des phosphates alumino-calcaïques et alumineux sauf en quelques endroits où le dépôt reste intact sous forme de phosphate tricalcique.

## 1.2.Détermination de la granularité — Analyse granulométrique par tamisage

L'essai (NF EN 933-1) consiste à diviser et à séparer un matériau en plusieurs classes granulaires de dimensions décroissantes au moyen d'une série de tamis (Illustration 1, figure1).

Les masses de grains retenues sur les différents tamis sont rapportées à la masse initiale de matériau. Les pourcentages cumulés à travers chaque tamis sont présentés sous forme numérique (Annexe A.1) et si nécessaire sous forme graphique (Figures 4, 5 et 6).

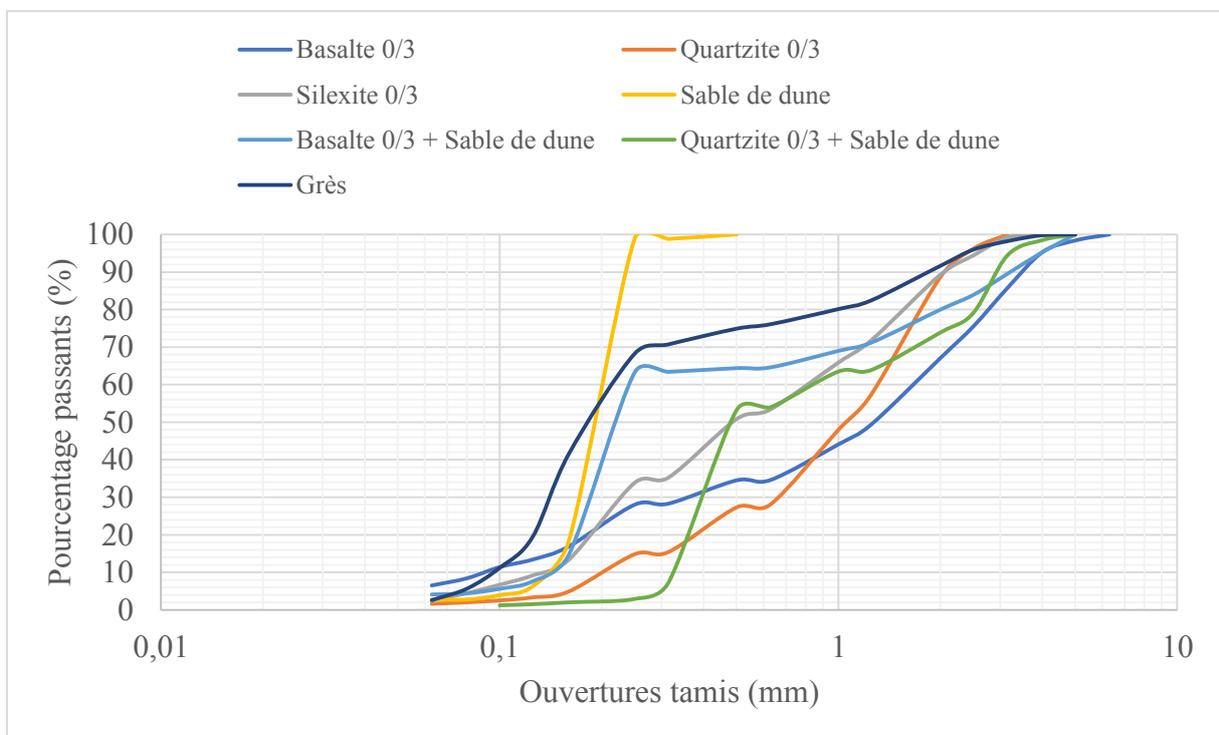


Figure 4 : Courbes granulométriques du Basalte 0/3, Quartzite 0/3, Silexite 0/3, Sable de dune, Basalte 0/3 + Sable de dune, Quartzite 0/3 + Sable de dune et Grès

Cette figure permet de dire que seule la courbe granulométrique du sable de dune montre une granulométrie continue.

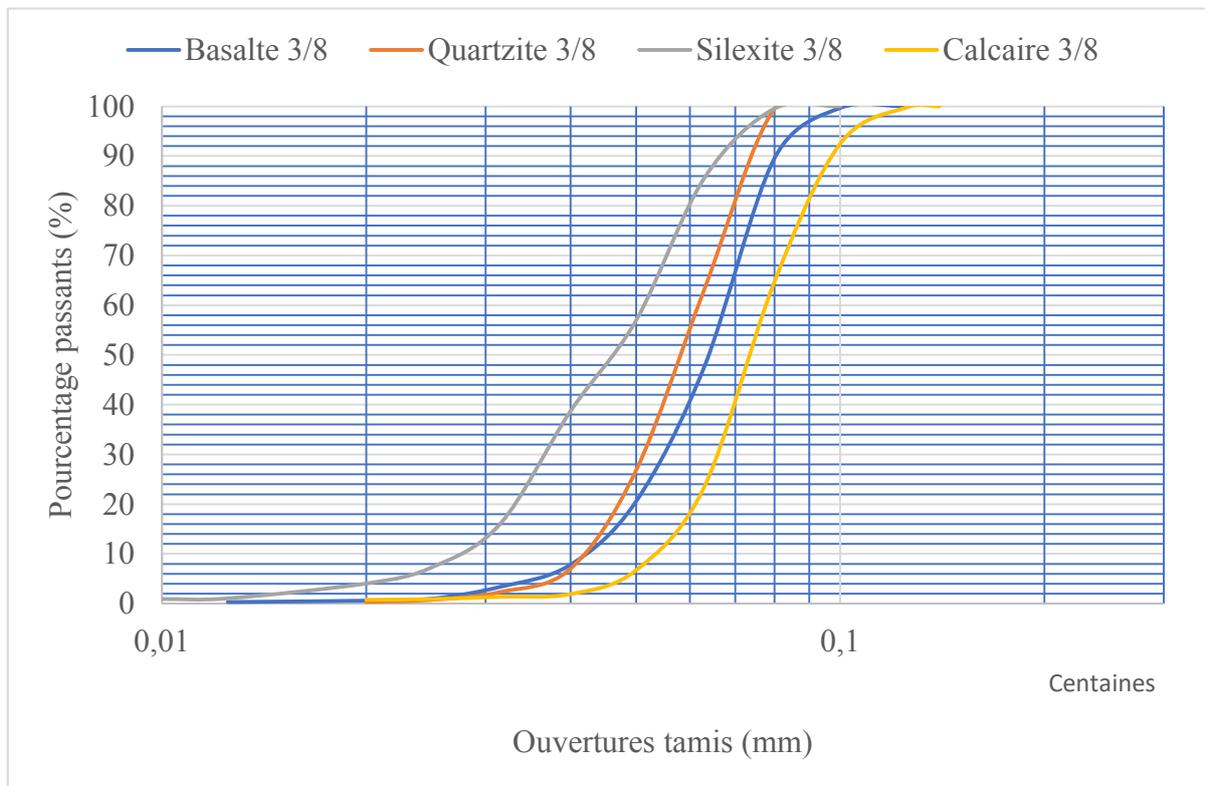


Figure 5 : Courbes granulométriques du Basalte 3/8, Quartzite 3/8, Silexite 3/8 et Calcaire 3/8

La figure 5 représentant les courbes granulométriques du Basalte 3/8, Quartzite 3/8, Silexite 3/8 et Calcaire 3/8, montre une granulométrie continue sur toutes les classes granulaires. On note une présence de 10 % de silexite de diamètres inférieurs à 3 mm.

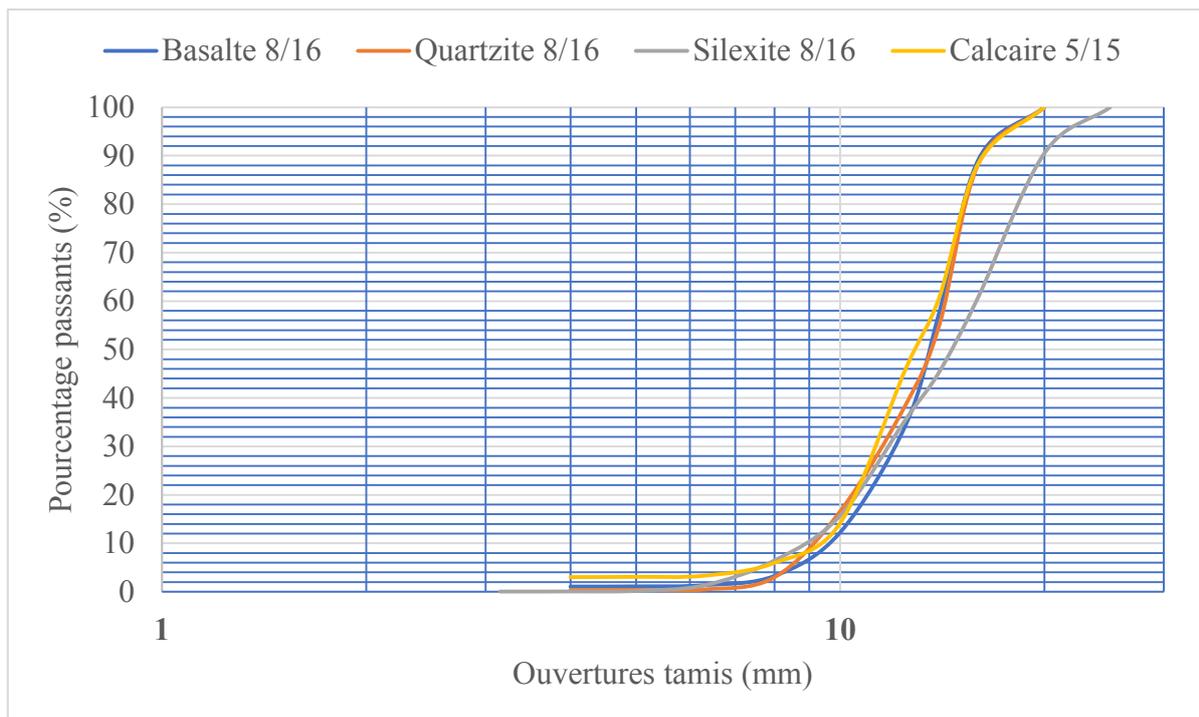


Figure 6 : Courbes granulométriques du Basalte 8/16, du Quartzite 8/16, du Silexite 8/16 et du Calcaire 5/15

La figure 6 représente les courbes granulométriques du Basalte 8/16, du Quartzite 8/16, du Silexite 8/16 et du Calcaire 5/15. Ces courbes montrent une granulométrie continue sur toutes les classes granulaires.

Les classes 0/3 des granulats (basalte, quartzite et silexite) ainsi que le mélange quartzite 0/3 + sable présentent une granulométrie étalée.

Le basalte (3/8 et 8/16), le quartzite (0/3, 3/8 et 8/16), le silexite 8/16, le calcaire (3/8 et 5/15) et le sable de dune sont bien gradués (continuité bien répartie) par opposition aux autres classes granulaires des mêmes matériaux.

### 1.3. Détermination de la forme des granulats — Coefficient d'aplatissement

Le coefficient d'aplatissement FI (NF EN 933-3) s'obtient en faisant une double analyse granulométrique par voie sèche, en utilisant successivement, et pour le même échantillon de granulats :

- une série de tamis normalisés à mailles carrées,
- une série de tamis (grilles) à fentes parallèles de largeurs normalisées.

Le tableau 12 résume les résultats obtenus (Annexe A.2).

Tableau 12 : Valeurs du coefficient d'aplatissement des granulats

Matériaux	Fractions	Coefficients d'aplatissement FI (%)	Code (NF-P 18-545)	Utilisation (NF-P 18545)
Basalte	8/16	12	A	Bétons d'ouvrages d'art et de bâtiment/ Bétons courants
	3/8	24	B et C	Bétons courants
Quartzite	8/16	12	A	Bétons d'ouvrages d'art et de bâtiment/ Bétons courants
	3/8	18		
Silexite	8/16	19		
	3/8	43	D	Bétons courants
Calcaire	5/15	5	A	Bétons d'ouvrages d'art et de bâtiment/ Bétons courants
	3/8	10		

Les données du tableau 12 représentent les valeurs des coefficients d'aplatissement des différents échantillons de classe granulaire différent mais aussi leur usage en fonction des codes adaptés aux granulats pour béton (NF-P-18-545). On constate que :

- Les échantillons de basalte 8/16, quartzite (8/16 et 3/8), calcaire (5/15 et 3/8) et silexite 8/16 ont le code A; ils peuvent donc être utilisés comme granulat dans les bétons pour ouvrage d'art et de bâtiment mais aussi dans les bétons courants,
- Le basalte 3/8, ayant pour indice B et C pourra être utilisé dans les bétons pour ouvrage d'art et de bâtiment mais aussi dans les bétons courants,
- Le silexite 3/8, suivant La valeur du coefficient (43) le code D lui convient, il peut donc être utilisé comme granulat pour les bétons courants.

#### 1.4.Détermination du module de finesse des sables

La finesse d'un sable peut être caractérisée par le module de finesse MF selon la norme NF P 18 540. Le module de finesse d'un sable est égal au 1/100e de la somme des refus cumulés exprimés en pourcentages, sur différents tamis (0,16 – 0,315 – 0,63 – 1,25 – 2,5 et 5 mm). De préférence, pour qu'un sable soit admis dans la composition du béton, son module de finesse doit être compris entre 2,20 et 2,80 (Tableau 13).

Tableau 13 : Nature et qualité du sable en fonction du module de finesse

Modules de finesse	Sables admissibles
1,80 à 2,20	Sable un peu trop fin
2,20 à 2,80	Sable préférentiel
2,80 à 3,20	Sable un peu trop grossier, donnera des bétons résistants mais moins maniables.

Le module de finesse est obtenu à partir de l'équation (1) :

$$MF = \frac{1}{100} \times \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis } \{0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 \text{ et } 5 \text{ mm}\} \quad (1)$$

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant (Tableau 14).

Tableau 14 : Valeurs du module de finesse des sables

Matériaux	MF	Code (NF-P 18-545)	Utilisation (NF-P 18545)
Basalte 0/3	3,122	AB	Bétons d'ouvrages d'art et de bâtiment/ Bétons courants
Sable de dune	0,95	CD	Bétons courants
Basalte 0/3 + Sable de dune	2,205	AB	Bétons d'ouvrages d'art et de bâtiment/ Bétons courants
Quartzite 0/3	3,179	AB	
Quartzite 0/3 + Sable de dune	2,121	AB	
Silexite 0/3	2,512	AB	
Grès	0,853	CD	Bétons courants

Ces résultats montrent que le basalte 0/3, le mélange basalte 0/3 + sable de dune, le quartzite 0/3, le mélange quartzite 0/3 + sable de dune, le silexite 0/3 et le sable de dune peuvent être utilisés dans les bétons d'ouvrages d'art et de bâtiment et aussi dans les bétons courants car ayant un code A et B. Par contre le sable de dune et le grès ne peuvent être utilisés que dans les bétons courants.

## 1.5.Équivalent de sable

La propreté des sables est fournie par l'essai appelé « équivalent de sable (ES) » (NF EN 933-8) qui permet de mesurer la fraction argileuse du matériau (Illustration 3, Figures 6, 7 et 8).

Plus la valeur de ES est grande, plus le sable est propre (Tableau 15).

Tableau 15 : Nature du sable en fonction de la valeur de l'équivalent de sable (ES)

ES à vue	ES à piston	Nature du sable
ES < 65 %	ES ≤ 60 %	Sable argileux
65 % ≤ ES < 75 %	60 % ≤ ES < 70 %	Sable légèrement argileux
75 % ≤ ES < 85 %	70 % ≤ ES < 80 %	Sable propre à faible proportion de fine argileuse
ES ≥ 85 %	ES ≥ 80 %	Sable très propre : absence presque totale de fines argileuses

Au terme de cet essai (Annexe A.6), les résultats obtenus sont les suivants (Tableau 16) :

Tableau 16 : Valeurs de l'équivalent de sable des granulats

Sables	ES (%)	Code (NF-P 18-545)	Utilisation (NF-P 18545)
Basalte 0/3	54	CDB	Bétons courants
Sable de dune	74	A	Bétons d'ouvrages d'art et de bâtiment
50% Basalte 0/3 + 50% Sable de dune	66	A	
Quartzite 0/3	94	A	
Quartzite 0/3 + Sable de dune	85		
Silexite 0/3	22	Néant	---

Ces résultats permettent de faire les conclusions suivantes :

- L'échantillon de basalte 0/3 ayant pour code B, C et D n'est utilisable que pour faire des bétons courants.
- Le sable de dune, les mélanges (basalte 0/3+sable de dune) et (quartzite 0/3+sable de dune) et le quartzite 0/3 avec un code A peuvent être utilisés dans les bétons d'ouvrages d'art et de bâtiment et les bétons courants.

- Le silexite 0/3 avec un ES de 22 % n'est pas codifiable par conséquent on ne peut l'utiliser dans la formulation de béton.

## 1.6. Essai au bleu de Méthylène

La propreté peut également être évaluée par l'essai au bleu de méthylène (NF EN 933-9+A1) (Illustration 4, Figure 9). Le bleu de méthylène est adsorbé préférentiellement par les argiles, les matières organiques et les hydroxydes de fer. La valeur de bleu (VB) exprime la quantité de bleu de méthylène adsorbée par 100 g de fines (Annexe A.5).

Le tableau 17 résume les résultats obtenus

Tableau 17 : Propreté des sables en fonction de la valeur de bleu

Matériaux	MB (g/kg)	Code (NF-P 18-545)	Utilisation (NF-P 18545)
Basalte 0/3	4,79	...	
Quartzite 0/3	0,60	A	Bétons d'ouvrages d'art et de bâtiment/bétons courants
Basalte 0/3 + Sable de dune	3,02	...	
Sable de dune	2,00	B et C	Bétons d'ouvrages d'art et de
Quartzite 0/3 + Sable de dune	1,00	A	bâtiment/bétons courants

Ces résultats nous renseignent que seuls les échantillons de quartzite 0/3, sable de dune et le mélange (quartzite + sable) de dune peuvent être codifiés et être utilisés dans les bétons d'ouvrages d'art et de bâtiment et les bétons courants.

## 1.7. Détermination de la masse volumique apparente

La masse sèche des granulats remplissant un conteneur spécifié est déterminée par pesage et la masse volumique apparente correspondante est calculée suivant la norme NF EN 1097-3.

La masse volumique apparente  $\rho_a$  se calcule pour chaque éprouvette selon l'équation (2) :

$$\rho_a = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (2)$$

$\rho_a$  est la masse volumique apparente, en grammes par centimètre cube ;

$m_1$  est la masse du conteneur vide, en grammes ;

$m_2$  est la masse du conteneur et de l'échantillon, en grammes ;

V est le volume du conteneur en centimètre cube.

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant (Tableau 18)

Tableau 18 : Valeurs de la masse volumique apparente des granulats

Matériaux	Basalte			Quartzite			Silexite			Calcaire		Sable de dune	Basalte 0/3 + sable de dune
	8/16	3/8	0/3	8/16	3/8	0/3	8/16	3/8	0/3	5/15	3/8		
$\rho_a$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,5		1,7	1,5	1,4	1,5	1,3	1,2	1,4	1,2		1,5	1,6

Il est ainsi nécessaire de déterminer la masse volumique réelle des granulats pour évaluer leur porosité intergranulaire.

### 1.8. Détermination de la masse volumique spécifique et du coefficient d'absorption d'eau

Déterminée selon la norme NF EN 1097-6, la masse volumique réelle des granulats (Illustration 2, Figures 2, 3, 4 et 5) est calculée à partir du rapport masse/volume (Annexe A.3).

La masse volumique réelle et le coefficient d'absorption sont tels que :

$$\rho_r = \rho_w \times \frac{m_4}{m_4 - (-m_2 - m_3)} \quad \text{et} \quad WA_{24} = \frac{100(m_1 - m_4)}{m_4} \quad (3) \text{ et } (4)$$

$\rho_w$  est la masse volumique de l'eau (kg/l) correspondant à sa température T.

$\rho_r$  : masse volumique réelle du granulat (g/cm<sup>3</sup> ou kg/m<sup>3</sup>).

$WA_{24}$  : Coefficient d'absorption d'eau après une immersion de 24 heures (%).

$m_1$  : masse dans l'air des granulats saturés et superficiellement secs (g).

$m_2$  : masse du pycnomètre contenant l'échantillon de granulats saturés et l'eau (g).

$m_3$  : masse du pycnomètre rempli d'eau uniquement (g).

$m_4$  : masse dans l'air de la prise d'essai séchée à l'étuve (g).

Les tableaux qui suivent (Tableaux 19 et 20) donnent les valeurs de la masse volumique réelle des granulats et celles du coefficient d'absorption des granulats soumis à l'essai.

Tableau 19 : Valeurs de la masse volumique réelle des granulats

Matériaux	Fractions	$\rho_r$ (g/cm <sup>3</sup> )	Conclusion
Basalte	8/16	2,96	Courants
	3/8	2,96	
	0/3	2,91	
Quartzite	8/16	2,65	
	3/8	2,65	
	0/3	2,66	
Silexite	8/16	2,63	
	3/8	2,58	
	0/3	2,55	
Calcaire	5/15	2,50	
	3/8	2,51	
Sable de dune		2,63	
Basalte 0/3 + Sable de dune		2,77	
Quartzite 0/3 + Sable de dune		2,66	
Fillers de grès		2,72	

D'après les résultats résumés dans le tableau 19, les échantillons soumis à l'essai sont tous des granulats courants car les valeurs de la masse volumiques réelles sont comprises entre 2 et 3 t/m<sup>3</sup>.

Tableau 20 : Valeurs du coefficient d'absorption des granulats

Matériaux	Fractions	WA <sub>24</sub> (%)	Code (NF-P 18-545)	Utilisation (NF-P 18545)
Basalte	8/16	0,56	A	Bétons d'ouvrages d'art et de bâtiment
	3/8	1,10		
Quartzite	8/16	0,28		
	3/8	0,86		
Silexite	8/16	3,32		
	3/8	3,82		
Calcaire	5/15	3,31		
	3/8	3,55		

Les échantillons de basalte (3/8 et 8/16), de quartzite (3/8 et 8/16), silexite (3/8 et 8/16) et le calcaire (3/8 et 5/15) peuvent être utilisés dans les bétons d'ouvrages d'art et de bâtiment.

### 1.9.Détermination de la résistance à l'usure — Micro-Deval

L'essai s'effectue sur les gravillons entre 4 et 14 mm et entre 25 et 50 mm (NF EN 1097-1). Il consiste à mesurer l'usure produite par le frottement entre les granulats et par une charge abrasive dans un cylindre rotatif dans des conditions définies (Illustration 5, Figures 10 et 11).

Le coefficient micro-Deval (Annexe A.8) est donné par la relation suivante (5).

$$M_{DE} = \frac{500 - m}{5} \quad (5)$$

$M_{DE}$  : le coefficient micro-Deval (à l'état humide).

500 : masse sèche de la prise d'essai, en grammes.

m : la masse séchée à l'étuve de la fraction refusée au tamis de 1,6 mm, en grammes.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant (Tableau 21)

Tableau 21 : Valeurs de la résistance à l'usure des granulats

Matériaux	Fractions	$M_{DE}$ (%)	Spécification	Conformité
Basalte	8/16	11	< 25 %	Conforme
	3/8	18		
Quartzite	8/16	7		
	3/8	8		
Silexite	8/16	6		
	3/8	7		
Calcaire	5/15	57		Non conforme
	3/8	80		

Les valeurs du coefficient micro-Deval des échantillons de basalte (3/8 et 8/16), quartzite (3/8 et 8/16) et de silexite sont inférieures à 25 % donc ces granulats satisfont aux spécifications de la norme NF P 18 545. Cependant, les échantillons de calcaire 3/8 et 5/15 ont des valeurs du coefficient micro-Deval supérieures à 25 % et ne répondent donc pas aux exigences de cette norme.

Les granulats de basalte, de quartzite et de silexite montrent une grande résistance à l'usure due à leur aspect très massif.

### 1.10. Détermination de la résistance à la fragmentation — Los Angeles :

Cet essai détermine la résistance à la fragmentation par chocs des éléments d'un échantillon de granulats suivant la norme NF EN 1097-2 (Illustration 6, Figures 12 et 13).

Le coefficient Los Angeles (Annexe A.7) est calculé à partir de la formule suivante (6) :

$$LA = \frac{5000-m}{50} \quad (6)$$

LA est le coefficient Los Angeles.

5000 est la masse sèche de la prise d'essai, en grammes.

m est la masse sèche du refus au tamis 1,6 mm, en grammes.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant (Tableau 22)

Tableau 22 : Valeurs de la résistance à la fragmentation des granulats

Matériaux	Fractions	LA	Spécifications	Conformité
Basalte	8/16	18	A	Bétons d'ouvrages d'art et de bâtiment / Bétons courants
	3/8	17		
Quartzite	8/16	14		
	3/8	19		
Silexite	8/16	24		
	3/8	24		
Calcaire	5/15	35	B et C	
	3/8	34		

Les valeurs du coefficient Los Angeles des échantillons de basalte (3/8 et 8/16), quartzite (3/8 et 8/16) et de silexite ont une valeur de coefficient LA ne dépassant pas la valeur supérieure spécifiée 30, ce qui leurs confèrent le code A donc utilisables dans les bétons d'ouvrages d'art et de bâtiment et bétons courants. Les échantillons de calcaire 3/8 et 5/15 quant à eux ont des valeurs de coefficient Los Angeles supérieures respectivement égale à 34 et 35 avec un code

B et C mais ils sont toujours utilisables dans les bétons d'ouvrages d'art et de bâtiment et dans les bétons courants.

## **Conclusion**

La caractérisation géotechnique permet de connaître les caractéristiques intrinsèques des granulats. Les résultats obtenus avec le basalte et le quartzite sont beaucoup plus satisfaisants que ceux obtenus avec le silexite et le calcaire.

En effet, les caractéristiques des granulats dépendent de la nature et de la qualité du matériau d'origine d'une part, et de leurs conditions d'exploitation et d'élaboration d'autre part.

Les propriétés géométriques et de propreté peuvent être considérablement améliorées en mettant en œuvre des méthodes d'extraction, de fragmentation et de classement appropriées, alors que les propriétés intrinsèques ne peuvent être que peu influencées par la fabrication. L'homogénéité de toutes ces caractéristiques, c'est-à-dire la régularité des fournitures de granulats, constitue l'objectif prioritaire que tout producteur doit viser et que tout maître d'ouvrage doit vérifier.

Les spécifications d'usage actuelles tendent généralement à concilier le souhaitable et le possible, les impératifs techniques et les contraintes économiques, dans le cadre d'une gestion optimale des ressources existantes et potentielles au mieux des intérêts de la collectivité, et dans un souci de développement durable.