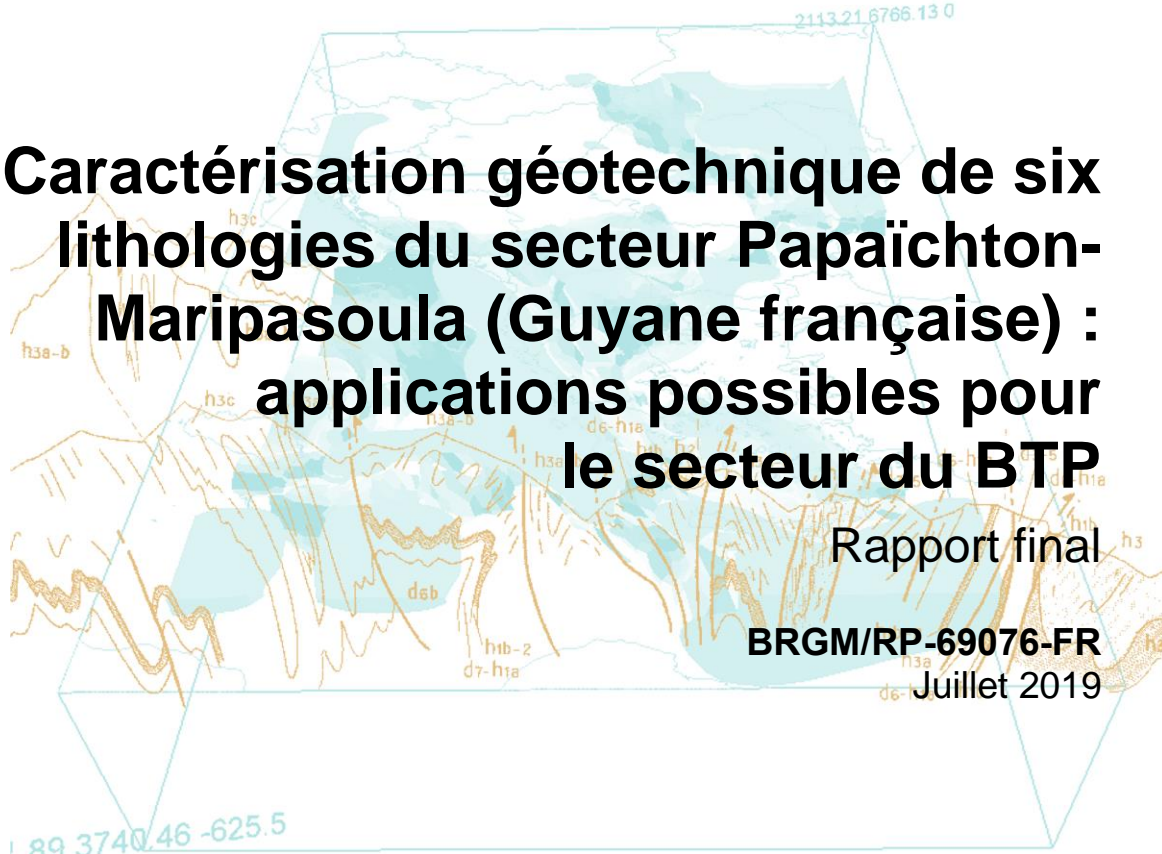


Document public



Caractérisation géotechnique de six lithologies du secteur Papaïchton-Maripasoula (Guyane française) : applications possibles pour le secteur du BTP

Rapport final

BRGM/RP-69076-FR

Juillet 2019



Caractérisation géotechnique de six lithologies du secteur Papaïchton-Maripasoula (Guyane française) : applications possibles pour le secteur du BTP

Rapport final

BRGM/RP-69076-FR

Juillet 2019

Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM AP18CAY031

M. Cabidoche, G. Aertgeerts, N. Brisset

Vérificateur :

Nom : Daniel Cassard

Fonction : Superviseur projets européens 'Ressources minérales'

Date : 08/07/2019

Signature :



Approbateur :

Nom : L. Verneyre

Fonction : Directrice BRGM Guyane

Date : 12/07/2019

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : qualite@brgm.fr



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Mots-clés : Carrière, Géotechnique, BTP, Métavolcanites, Unité de Paramaca, Granitoïdes, Complexe central des TTG, Maripasoula, Papaïchton, Guyane française.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Cabidoche M., Aertgeerts G., et Brisset N. (2019) - Caractérisation géotechnique de six lithologies du secteur Papaïchton-Maripasoula (Guyane française) : applications possibles pour le secteur du BTP. Rapport final. BRGM/RP-69076-FR, 80 p., 34 fig., 15 tab.

Synthèse

Le secteur de Maripasoula-Papaïchton (Guyane française) connaît depuis plusieurs décennies une croissance démographique très importante (6,5 % par an en moyenne entre 2011 et 2016, source INSEE). Cette croissance provoque une très forte pression sur l'aménagement du territoire et sur les besoins en matières premières et notamment en sable et en gravier. Ces dernières années, plusieurs chantiers majeurs ont été lancés à Maripasoula (e.g., centrale hydro-électrique de Saut-Sonnelle, lycée de Maripasoula) et à Papaïchton (e.g., extension du collège). Les ressources terrestres en sable disponibles dans le secteur sont maigres et, aujourd'hui, pour ce qui est de l'approvisionnement français, une grande partie des matériaux nécessaires à la construction est prélevée dans le lit mineur du fleuve Lawa. Ces prélèvements sont rendus possibles par l'attribution d'AOT (autorisation d'occupation temporaire) du milieu fluvial à des fins d'entretien du chenal de navigation. Néanmoins, les réserves et surtout les impacts de tels prélèvements sont mal connus, si bien qu'il est primordial de trouver des alternatives à ces AOT. Aussi, la question de la production de granulats à partir de roche dure est aujourd'hui clairement posée.

Dans ce cadre, la Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DEAL) et la Collectivité Territoriale de Guyane (CTG) ont missionné le BRGM afin de réaliser une caractérisation géotechnique des principales lithologies de roches dures exposées dans le secteur de Maripasoula-Papaïchton et d'établir un premier diagnostic de l'utilisation de granulats issus de ces roches pour une application dans le BTP.

Six affleurements ont été étudiés et 90 à 100 kg de chacun de ces affleurements ont été collectés et envoyés en métropole afin d'être soumis à une palette d'essais géotechniques. Les roches dures identifiées pour chacun de ces affleurements appartiennent à trois grands types de lithologies. Les deux premiers types, qui affleurent le long du fleuve et le long de la piste qui relie Maripasoula à Papaïchton, correspondent à des métavolcanites basiques à intermédiaires (i.e., laves basaltiques à andésitiques métamorphisées) et à des métapyroclatites (mélange de cendres volcaniques et de laves métamorphisées). Le troisième type correspond à des roches magmatiques acides mises en place en profondeur (i.e., pluton granitoïdique). Parmi ces roches, les analyses ont été concentrées sur les termes métavolcaniques et magmatiques. Ainsi, deux metabasaltes, deux méta-andésites, une granodiorite à biotite et une tonalite à amphibole ont été étudiés d'un point de vue géotechnique. Au total, 17 essais, complétés par des observations au microscope optique à lumière polarisée, ont été réalisés. Ces essais ont été faits sur deux fractions granulométriques issues du concassage des échantillons : 0/2 mm et 0/63 mm.

Les résultats montrent clairement que les roches magmatiques présentent la plus large gamme d'application pour la confection de granulats utilisables dans les travaux du BTP. Parmi les deux lithologies magmatiques échantillonnées, la granodiorite à biotite couvre le plus grand champ d'application. Concernant les roches volcaniques, les résultats sont très hétérogènes et leur utilisation en tant que granulats pour le BTP semble limitée. Par ailleurs, l'étude au microscope optique à lumière polarisée a montré que certaines de ces roches présentaient des fibres d'amphiboles à caractère asbestiforme (actinolite-trémolite amiante), ce qui suggère que ce type de lithologie présente un aléa fort quant à la présence d'amiante naturel (au sens des cartographies de l'aléa amiante environnemental naturel réalisées par le BRGM depuis 2009).

Sommaire

1. Introduction	11
2. Contexte géologique	13
2.1. CONTEXTE GÉOLOGIQUE GÉNÉRAL.....	13
2.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE DU SECTEUR D'ÉTUDE	16
2.2.1. Les formations superficielles et de la couverture sédimentaire	17
2.2.2. Les formations du socle	17
3. Échantillonnage de terrain et caractérisation pétrographique.....	19
3.1. ÉCHANTILLONNAGE.....	19
3.2. CARACTÉRISATION PÉTROGRAPHIQUE.....	20
3.2.1. Assemblage minéralogique.....	20
a) Les métavolcanites	20
b) Roches plutoniques	21
3.2.2. Indices de réactivité en milieux alcalin	22
3.2.3. Amiante environnemental.....	22
4. Caractérisation géotechnique	23
4.1. NORMES ET ESSAIS DE CARACTÉRISATION DES MATERIAUX POUR LE SECTEUR DU BTP.....	23
4.1.1. Contexte législatif et normatif de l'étude.....	23
4.1.2. Éléments de références pour l'analyse et l'interprétation des résultats	25
a) Granulométrie.....	25
b) Équivalent de sable	25
c) Classification du trafic pour la norme NF P 18 545 – Articles 7, 8 et 9.....	26
4.2. ANALYSES ET RÉSULTATS.....	26
4.2.1. Analyses réalisées	26
4.2.2. Résultats.....	28
a) Analyses granulométriques, équivalents de sables et valeurs au bleu.....	28
b) Masse volumique et coefficient d'absorption d'eau	34
c) Impuretés prohibées.....	35
d) Chlorures solubles dans l'eau	35
e) Sulfate soluble dans l'acide	35
f) Teneur total en soufre.....	36
g) Alcalins solubles dans l'eau de chaux.....	37
h) Réactivité aux alcalins (essais sur micromortier et à l'autoclave).....	38

i) Matière humique	40
j) Coefficient d'aplatissement.....	40
k) Coefficient de friabilité	41
l) Résistance à la fragmentation (Los Angeles) et résistance à l'usure Micro-Deval	42
m) Résistance au gel /dégel.....	44
n) Coefficient de polissage accéléré (PSV)	44
4.2.3. Interprétation des résultats.....	45
a) Utilisation chaussées : couches de fondation, de base et de liaison	45
b) Utilisation chaussées couches de roulement	51
c) Utilisation chaussées bétons de ciments	55
d) Utilisation pour la fabrication du bétons hydrauliques et mortiers.....	60
5. Discussion et conclusion	71
6. Bibliographie	75

Liste des figures

Figure 1 : Carte géologique simplifiée présentant les principales unités géologiques s.l. de Guyane. D'après Cassard <i>et al.</i> (2008).	15
Figure 2 : Extrait de la carte géologique à 1/500 000 de la Guyane (Delor <i>et al.</i> , 2003), secteur de Maripasoula – Papaïchton. Plages vertes et bleues : Unité de paramaca, lithologies volcanique à volcanosédimentaire indifférenciées (ensemble 1). Plages oranges et roses : lithologies plutoniques indifférenciées (ensemble 2). Plages vert-foncé : dolérites filoniennes (ensemble 3).	16
Figure 3 : Cartographie morpho-lithostructurale du secteur d'étude. Le polygone rouge représente l'emprise de la Réserve Naturelle Régionale des Abbati Cotica. Les croix noires représentent les points d'observation.	18
Figure 4 : Photographies d'affleurements rocheux dans le secteur de Maripasoula-Papaïchton. (a) affleurement d'amphibolite. (b) affleurement d'amphibolite à épidote et chlorite en rive gauche de la rivière Grand Inini. (c) affleurement de tonalite à amphibole de Papa Constant. (d) affleurement de granodiorite à biotite du Saut Sonnelle.	19
Figure 5 : Courbes granulométriques de la fraction 0/125 mm en % de passant des échantillons.	29
Figure 6 : Répartition granulométrique de la fraction 0/125 mm en % de passant des échantillons. ...	30
Figure 7 : Courbes granulométriques du 0/2 mm des échantillons de roches dures de 2019.	31
Figure 8 : Répartition granulométrique de la fraction 0/2 mm en % de passant des échantillons.	32
Figure 9 : Histogramme des résultats d'essais d'équivalent de sable des échantillons prélevés dans le cadre de cette étude.	33
Figure 10 : Histogramme des valeurs au bleu de méthylène en g/kg (MB sur fraction 0/2 mm).	33
Figure 11 : Histogramme des masses volumiques et des absorption d'eau des échantillons.	35
Figure 12 : Histogramme des teneurs de sulfates solubles dans l'acide (%) des échantillons.	36
Figure 13 : Histogramme des teneurs totales en soufre (%) des échantillons analysés dans le cadre de cette étude.	37
Figure 14 : Histogramme des teneurs en alcalins solubles dans l'eau de chaux des échantillons prélevés dans le cadre de cette étude.	38
Figure 15 : Essais sur micromortier – déformations relatives (C/G = 2) et (C/G = 5) en % des échantillons prélevés dans le cadre de cette étude.	39
Figure 16 : Histogramme des coefficients d'aplatissement des échantillons prélevés dans le cadre de cette étude.	41
Figure 17 : Histogramme des coefficients de friabilité des sables des échantillons.	42
Figure 18 : Caractéristiques intrinsèques des échantillons en fonctions de leurs résistances (sur la fraction 10/14 mm).	43
Figure 19 : Histogramme des résistances à la fragmentation et à l'usure des échantillons (fraction 10/14 mm).	43
Figure 20 : Résistance (en %) au gel / dégel des échantillons prélevés dans le cadre de cette étude.	44
Figure 21 : Diagramme de classification des résultats de résistance à la fragmentation et à l'usure. ...	46
Figure 22 : Courbes granulométriques du 0/63 mm (0/60 mm) en fonction de la norme NF P 18 545 Article 7 pour des gravillons.	47
Figure 23 : Courbes granulométriques du 0/2 mm des échantillons de roches dures de 2019 par rapport à la norme NF P 18 545 - Article 7 et 8.	48
Figure 24 : Caractéristiques intrinsèques des échantillons par rapport aux limites fixées dans la norme NF P 18 545 - Article 8.	51

Figure 25 : Courbes granulométriques du 0/2 mm des échantillons de roches dures de 2019 par rapport à la norme NF P 18 545 - Article 7 et 8.	52
Figure 26 : Caractéristiques intrinsèques des échantillons par rapport aux limites fixées dans la norme NF P 18 545 - Article 9.	55
Figure 27 : Courbes granulométriques du 0/63 mm (0/60 mm) en fonction de la norme NF P 18 545 - Article 9 pour des gravillons.	56
Figure 28 : Courbes granulométriques du 0/2 mm des échantillons de roches dures de 2019 par rapport à la norme NF P 18 545 - Article 9.	57
Figure 29 : Courbes granulométriques du 0/63 mm (0/60 mm) en fonction de la norme NF P 18 545 - Article 10 pour des gravillons.	60
Figure 30 : Courbes granulométriques du 0/2 mm des échantillons prélevés dans le cadre de cette étude par rapport à la norme NF P 18 545 - Article 10 - NF EN 12 620.....	62
Figure 31 : Courbes granulométriques du 0/2 mm des échantillons de roches dures de 2019 par rapport à la norme NF P 18 545 - Article 10 - NF EN 13 139.....	62
Figure 32 : Modules de finesse de la fraction 0/2 mm des échantillons calculés selon NF EN 12 620	63
Figure 33 : Histogramme des teneurs en soufre et en sulfates solubles dans l'acide (en %).	65
Figure 34 : Localisation du secteur préconisé (cercle rouge) pour des investigations complémentaires dans le cadre d'un projet d'ouverture de carrière de roche dure dans le secteur de Maripasoula.	74

Liste des tableaux

Tableau 1 : Tableau des coordonnées des points d'observation de cette étude.	20
Tableau 2 : Liste des essais à réaliser pour la caractérisation d'échantillons à destination du secteur du BTP.	24
Tableau 3 : Caractéristiques générales de granularité selon la norme NF EN 13 242 + A1.....	25
Tableau 4 : Tableau des valeurs de référence pour l'interprétation des résultats des essais d'équivalent de sable.	26
Tableau 5 : Définition des classes de trafic en fonction des seuils de trafic exprimés en poids lourds journalier moyen.....	26
Tableau 6 : Liste des essais réalisés en laboratoires et des normes associés.	27
Tableau 7 : Résultats des essais sur la réactivité aux alcalins à l'autoclave pour les échantillons prélevés dans le cadre de cette étude.....	40
Tableau 8 : Classement des échantillons de Maripasoula 2019 par rapport aux spécifications d'usage des graves non traitées.	49
Tableau 9 : Classement des échantillons de Maripasoula 2019 par rapport aux spécifications d'usage pour les enrobés bitumineux.	50
Tableau 10 : Classement des échantillons prélevés dans le cadre de cette étude par rapport aux spécifications d'usage pour les bétons bitumineux.....	54
Tableau 11 : Classement des échantillons de Maripasoula 2019 par rapport aux spécifications d'usage pour les enrobés coulés à froid (ECF).	54
Tableau 12 : Classement des échantillons prélevés dans le cadre de cette étude par rapport aux spécifications d'usage pour les chaussées bétons de ciment.	59
Tableau 13 : Classement des échantillons de Maripasoula 2019 par rapport aux spécifications d'usage pour les gravillons dans les bétons hydrauliques et mortiers.	66
Tableau 14 : Classement des échantillons prélevés dans le cadre de cette étude par rapport aux spécifications d'usage pour du sable 0/2 mm dans les bétons hydrauliques et mortiers. NR = Non réactif ; NC = Non conforme.	68
Tableau 15 : Tableau de synthèse des lithologies échantillonnées dans le cadre de cette étude en 2019 par rapport aux applications de la norme NF P 18 545 et des normes associées.	73

1. Introduction

La région de Maripasoula fait l'objet d'une très forte croissance démographique (6,5 %/an en moyenne sur les cinq dernières années, source INSEE). Dans ce contexte de développement, la construction d'infrastructures publiques et privées entraîne des besoins sans cesse croissants en matériaux. D'ici à 2030, les services de la mairie de Maripasoula estiment des besoins minimums de 90 000 m³ de gravier et à 120 000 m³ de sable pour le bâtiment, et d'environ 45 000 m³ de GNT (Graves Non Traitées), 20 000 m³ de gravier et 15 000 m³ de sable pour les voiries (20 km de chaussées et annexes en béton).

La ressource potentielle terrestre en sable et gravier naturels autour de la commune de Maripasoula est faible. En effet, d'après une étude réalisée par le BRGM (Piquet *et al.*, 2015), les seuls gisements de sable exploitables répertoriés dans ce secteur représentent un volume de 120 000 m³ et se composent d'un sable limoneux très fin de qualité limitée.

Plusieurs études ont été entreprises ces dernières années afin d'identifier les gisements potentiellement exploitables affleurant dans la région de Maripasoula. Aujourd'hui, des études sont prévues afin de proposer une méthodologie de suivi et de gestion de l'extraction de sable dans le lit mineur du fleuve Lawa. Néanmoins, la question de la production de sable par concassage de roche dure reste en suspens, aussi la Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DEAL) et la Collectivité Territoriale de Guyane (CTG) souhaitent évaluer les gisements potentiels concernant ce type de matériaux.

En 2002, le BRGM avait déjà réalisé une étude préliminaire intégrant les potentiels gisements de roches dures (Marteau *et al.*, 2002). Cette étude concluait que « les gisements de roches dures pour granulats concassés ne sont pas économiquement exploitables (et le seraient difficilement sur le plan technique), le taux de morts-terrains (alluvions et altérites) étant trop élevé (de 15 à plus de 30 m d'épaisseur à Maripasoula), les sites d'affleurement à terre étant par ailleurs assez éloignés (affleurements de la piste de Papaïchton, roche dure de bonne qualité), enfin l'homogénéité et la qualité des roches n'étant pas garantie ». Les roches identifiées lors de cette étude correspondent à des dolérites dont l'extension reste très limitée puisqu'il s'agit de roches filoniennes hypovolcaniques. Hormis ces dolérites, la région de Maripasoula est constituée de schistes et de métatufs parfois massifs. Plus à l'est, à environ sept kilomètres, le secteur de Sonnelle expose des granitoïdes. Ces deux types de roches dures, lorsqu'elles sont saines, pourraient avoir des caractéristiques géotechniques intéressantes en termes de granulats.

Dans ce cadre, l'objectif de ce projet est d'identifier les différents faciès lithologiques présents dans le secteur de Maripasoula-Papaïchton et de déterminer leur utilisation potentielle dans le domaine du BTP.

2. Contexte géologique

2.1. CONTEXTE GÉOLOGIQUE GÉNÉRAL

Le bouclier guyanais est organisé selon le modèle classique des grands boucliers précambriens où alternent des ceintures de roches vertes d'origine volcano-sédimentaire et des complexes granitiques parfois déformés et métamorphisés (granitoïdes s.l., gneiss et migmatites).

En Guyane, les formations géologiques du socle (Figure 1) sont principalement datées du Protérozoïque inférieur (2.5 à 1.6 Ga¹) et se répartissent en quatre grands ensembles :

- la ceinture de roches vertes : elle comprend deux formations principales qui sont l'Unité de Paramaca et l'Unité d'Armina. Ces deux formations se distinguent l'une de l'autre par la nature des roches qui les compose. En effet, l'Unité de Paramaca est principalement constituée de termes volcaniques (c.-à-d. des laves) métamorphisés (métabasaltes, méta-andésites, méta-dacites, voire méta-rhyolites) alors que l'Unité d'Armina comprend principalement des termes volcano-sédimentaires et sédimentaires (c.-à-d. un mélange de cendres et de laves) métamorphisés (méta-pelites et méta-greywackes) ;
- les complexes granitoïdiques s.l : trois grands complexes sont reconnus en Guyane. Le premier (Complexe migmatitisé de Laussat et de Tamouri, 2.18-2.16 Ga) est exposé au nord et au sud de la Guyane. Le second (Complexe central de TTG², 2.15-2.13 Ga) est principalement exposé au centre de la Guyane, entre l'Unité de Paramaca et l'Unité d'Armina. Enfin, le troisième (Complexe de Saint-Georges-de-l'Oyapock, 2.11-2.08 Ga) occupe les extrémités sud et nord-ouest du département ;
- l'unité détritique de Rosebel-Bonidoro : elle affleure au nord de la Guyane et est principalement constituée de quartzite et de grès interstratifiés de niveaux pélitiques. À sa base, cette unité comprend localement des niveaux conglomératiques ;
- les filons basiques : ils recoupent l'ensemble des unités du socle et trois séries peuvent être distinguées. La première série (série d'Apatoes ; 198-189 Ma³) affleure à l'est de la Guyane et tout le long du littoral. Elle est constituée de filons et de sills basaltiques qui sont orientés soit selon un axe nord-nord-ouest / sud-sud-est, soit selon un axe nord-ouest / sud-est. La deuxième série (série de Tampok ; 808 Ma) apparaît principalement dans le quart sud-ouest du département où elle forme une série de filons alignés selon un axe nord-ouest / sud-est. Cette série est principalement constituée de microgabbros. Enfin, la troisième série (série de la Comté ; 1800-1900 Ma) affleure dans la partie centrale de la Guyane où elle forme une série de filons orientée nord nord-est / sud sud-ouest. Elle est principalement constituée de microgabbro.

¹ Ga = Milliards d'années

² TTG = Tonalite–trondhjemite–granodiorite

³ Ma = Millions d'années

En plus de ces formations du socle, la Guyane expose aussi des formations sédimentaires qui peuvent être classées en deux grands ensembles :

- les formations de la couverture sédimentaire : elles affleurent uniquement dans la partie septentrionale de la Guyane où elles sont posées en discordance sur les unités du socle. Elles correspondent principalement à des formations (formation de Démérara, formation de Coswine) d'âge quaternaire qui sont principalement constituées de sables, de limons et d'argiles d'origine fluvio-marine ;
- les formations superficielles : elles affleurent dans toute la Guyane et correspondent aux produits de démantèlement des unités du socle et de la couverture sédimentaire. Elles sont principalement constituées d'éluvions, de colluvions et d'alluvions.

Enfin, l'ensemble de la Guyane est couvert par un niveau d'altération parfois très épais et constitué d'altérites (allotérites et isaltérites) hétérogènes argilo-sableuses dont les termes les plus évolués apparaissent sous la forme de ferricrête plus ou moins alumineuses.

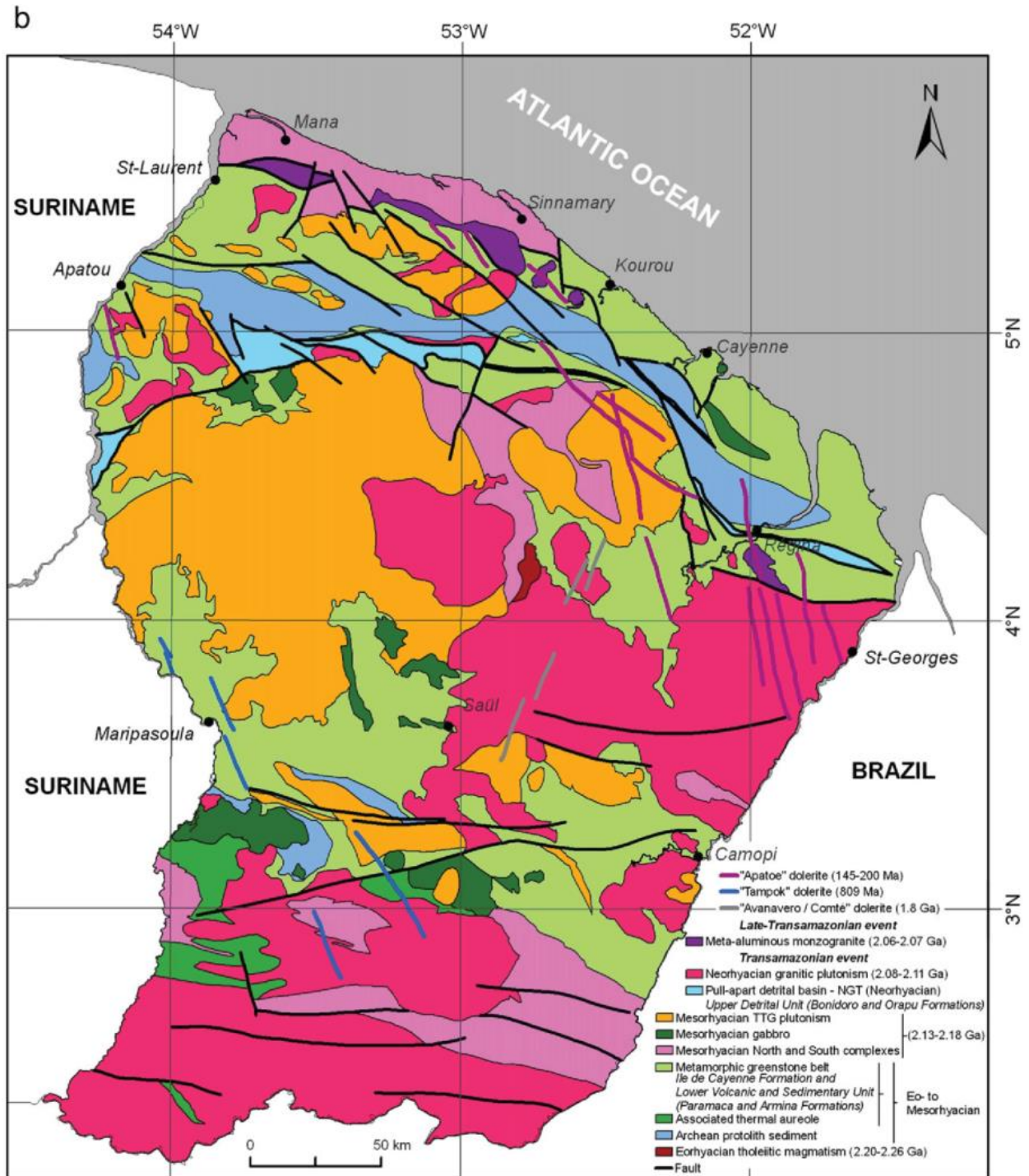


Figure 1 : Carte géologique simplifiée présentant les principales unités géologiques s.l. de Guyane. D'après Cassard et al. (2008).

2.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE DU SECTEUR D'ÉTUDE

Le secteur de Maripasoula-Papaïchton est couvert par la carte géologique à 1/500 000 de la Guyane (Delor *et al.*, 2003) et par les coupures à 1/100 000 de Maripasoula (n° 1205 ; Brouwer et Coudert, 1966) et Inini (n° 1206 ; Barruol *et al.*, 1977). Il expose principalement des formations superficielles issues de l'altération du socle et des formations de la couverture sédimentaire. Dans une moindre mesure, des affleurements de socle peuvent aussi être identifiés.

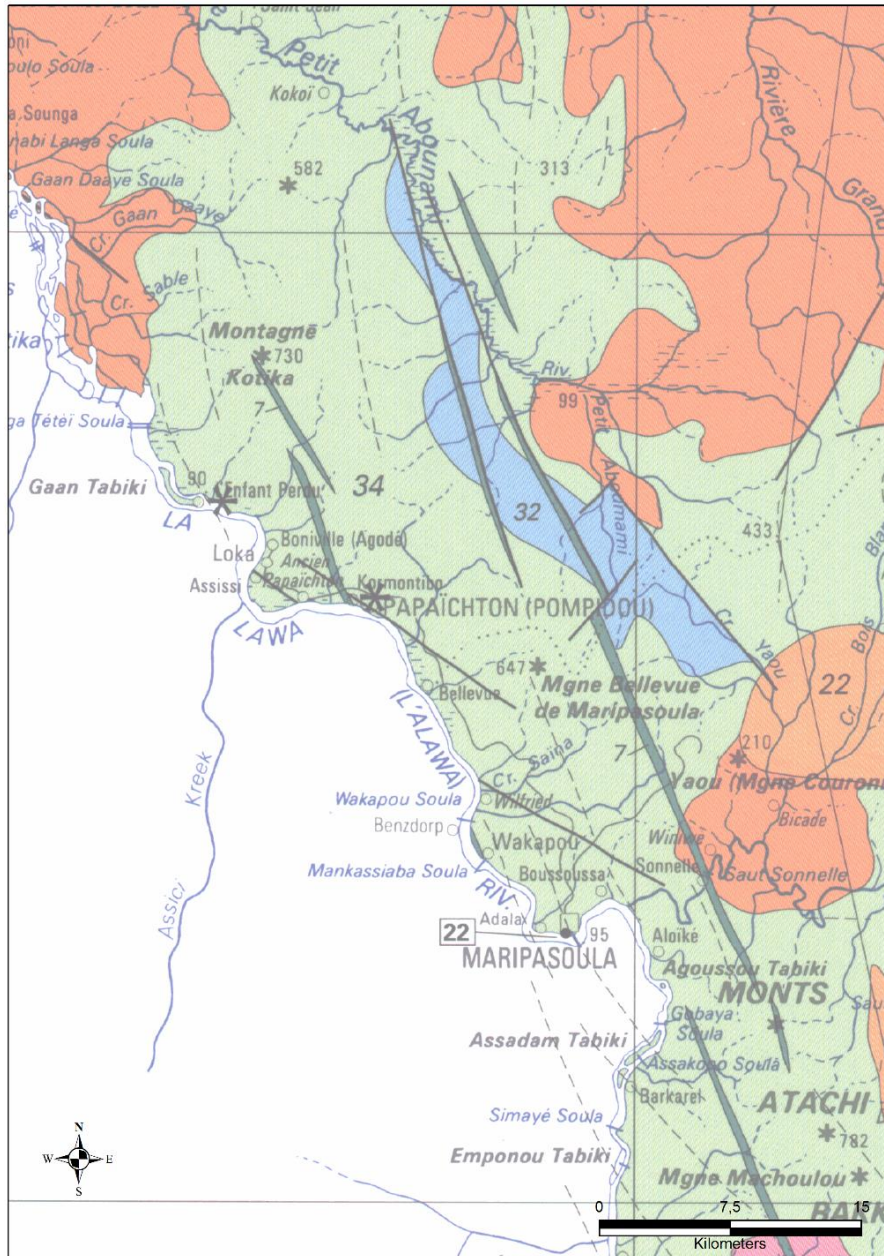


Figure 2 : extrait de la carte géologique à 1/500 000 de la Guyane (Delor et al., 2003), secteur de Maripasoula – Papaïchton. Plages vertes et bleues : Unité de paramaca, lithologies volcanique à volcanosédimentaire indifférenciées (ensemble 1). Plages oranges et roses : lithologies plutoniques indifférenciées (ensemble 2). Plages vert-forcé : dolérites filoniennes (ensemble 3).

2.2.1. Les formations superficielles et de la couverture sédimentaire

Les formations superficielles (latérites *s.l.*) sont exposées sur l'ensemble de la zone d'étude, à l'exception des fleuves et de certaines zones à très forte pente où des affleurements de roche saine peuvent être identifiés. Entre Maripasoula et Papaïchton, ces formations superficielles sont principalement représentées par des latérites gravillonnaires, des allotérites argileuses localement éluvionnées et par des accumulations de sable blanc résiduel (Brouwer et Coudert 1966 ; Barruol *et al.*, 1977; Marteau *et al.*, 2010). Dans une moindre mesure, des isaltérites et des allotérites de type argile tachetée peuvent aussi être identifiées dans le secteur (Brouwer et Coudert, 1966; Barruol *et al.*, 1977; Marteau *et al.*, 2010).

Les formations de la couverture sédimentaire sont principalement situées le long des fleuves. Le long du Lawa, elles occupent le lit majeur (actuel et ancien) et sont représentées par des alluvions argileuses, parfois disposées en paléo-terrasses (Brouwer et Coudert, 1966 ; Barruol *et al.*, 1977; Marteau *et al.*, 2010).

2.2.2. Les formations du socle

Comme précisé précédemment, le secteur Maripasoula-Papaïchton expose, sous les formations superficielles, des unités du socle. D'une manière générale, le secteur étudié comprends quatre grands ensembles lithologiques (Figure 1 ; Brouwer et Coudert, 1966 ; Barruol *et al.*, 1977). Au nord-ouest et au nord-est de Papaïchton, ainsi qu'à l'est de Maripasoula sont exposées des lithologies plutoniques (i.e., tonalite, granodiorite, diorite et trondhjémite). En revanche, le long du fleuve et jusqu'à 30 km dans les terres, les lithologies observées sont volcaniques à volcano-sédimentaires (i.e., metabasalte, méta-andésite et pyroclastites *s.l.*).

D'un point de vue morphologique, les lithologies majeures de la région étudiée s'individualisent nettement, en particulier sur les données SRTM30 traitées par ombrage. Selon Barruol *et al.* (1977), les massifs montagneux sont davantage constitués de roches volcaniques métamorphisées alors que les zones de plus faible altitude comprennent principalement des roches pyroclastiques. Les roches plutoniques se distinguent aisément sur les données SRTM30 traitées par ombrage, car elles présentent une texture « en peau d'orange » et un modelé géomorphologique très homogène (Figure 3).

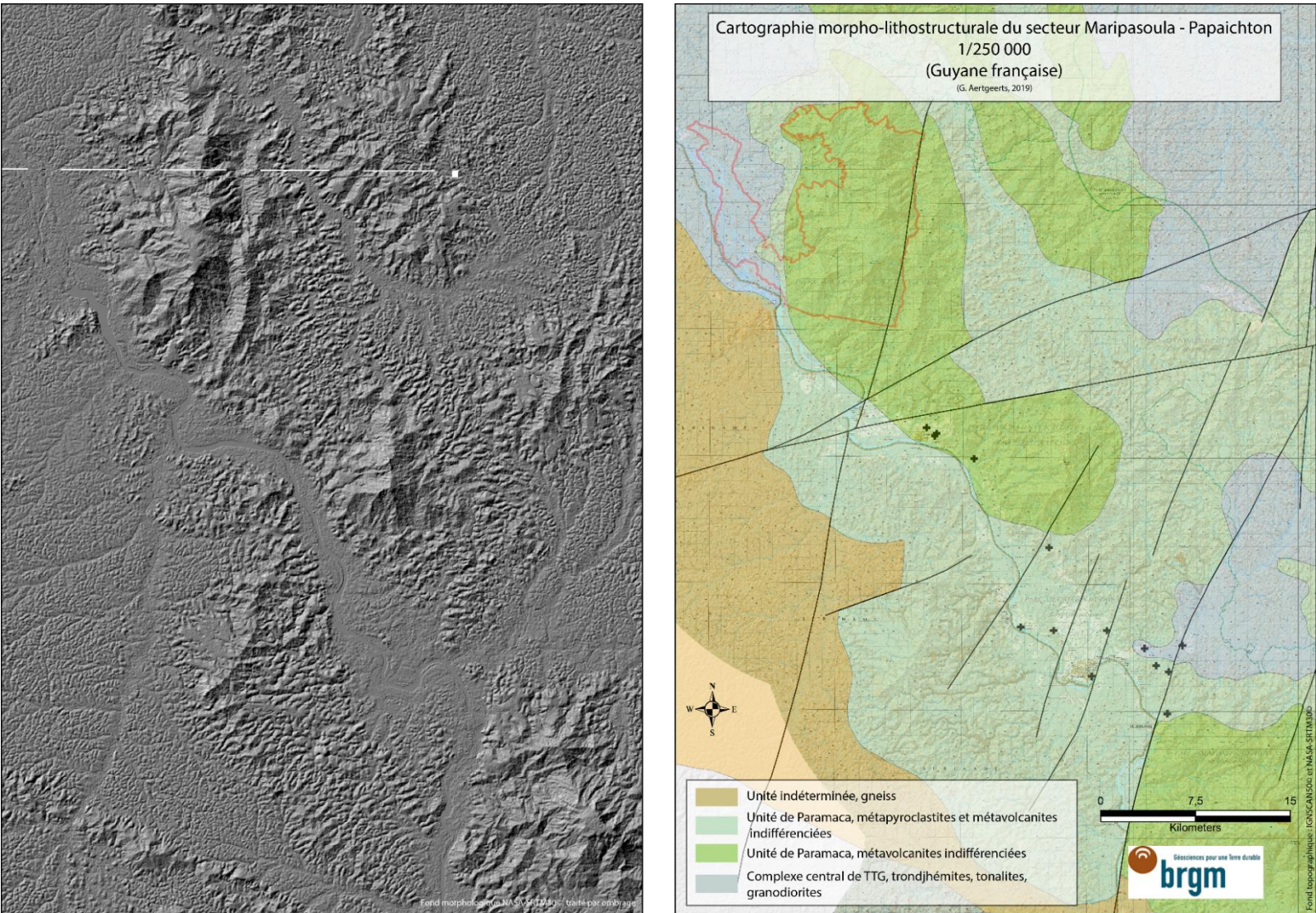


Figure 3 : Cartographie morpho-lithostructurale du secteur d'étude. Le polygone rouge représente l'emprise de la Réserve Naturelle Régionale des Abbati Cotica. Les croix noires représentent les points d'observation.

3. Échantillonnage de terrain et caractérisation pétrographique

3.1. ÉCHANTILLONNAGE

La mission de repérage et d'échantillonnage de terrain s'est déroulée entre le lundi 14 et le vendredi 18 janvier 2019. Au total, 19 points d'observation (Tableau 1) et 6 échantillons d'environ 90-100 kg ont été prélevés (Figure 1 ; Figure 4).



Figure 4 : Photographies d'affleurements rocheux dans le secteur de Maripasoula-Papaïchton.
(a) affleurement d'amphibolite. (b) affleurement d'amphibolite à épidote et chlorite en rive gauche de la rivière Grand Inini. (c) affleurement de tonalite à amphibole de Papa Constant.
(d) affleurement de granodiorite à biotite du Saut-Sonnelle.

Numero affleurement	Departement	Commune	Lieu-dit	XUTM22N	YUTM22N	Lithologie
GTMP001	GUYANE	PAPAICHTON		150660	422416	Amphibolite à épidote
GTMP002	GUYANE	PAPAICHTON		151278	421748	Amphibolite à épidote
GTMP003	GUYANE	PAPAICHTON		151280	421744	Amphibolite à épidote
GTMP004	GUYANE	PAPAICHTON		151431	421939	Amphibolite à épidote
GTMP005	GUYANE	PAPAICHTON		152972	339562	Ferrière
GTMP006	GUYANE	PAPAICHTON	Crique bamba Kiki	154396	419943	Amphibolite/Métabasalte
GTMP007	GUYANE	PAPAICHTON		160334	412919	Amphibolite/Métabasalte
GTMP008	GUYANE	MARIPASOULA	Cascade Gobaya	169686	399817	Métatuff/méta-andésite
GTMP009	GUYANE	MARIPASOULA	Cascade Gobaya	169726	399806	Métagrauwacke (?)
GTMP010	GUYANE	MARIPASOULA	Cascade Gobaya	169658	399797	Métagrauwacke (?)
GTMP011	GUYANE	MARIPASOULA	Cascade Gobaya			Métagrauwacke (?)
GTMP012	GUYANE	MARIPASOULA	Saut Sonnelle	170862	405202	Granodiorite à biotite
GTMP013	GUYANE	MARIPASOULA		169786	403115	Amphibolite à épidote et chlorite
GTMP014	GUYANE	MARIPASOULA		168791	403605	Amphibolite à épidote et chlorite
GTMP015	GUYANE	MARIPASOULA	Papa Constant	167850	404964	Tonalite à amphibole
GTMP016	GUYANE	MARIPASOULA	Piste Sophie	164906	406374	Amphibolite à épidote
GTMP017	GUYANE	MARIPASOULA	Piste Sophie	160689	406389	Amphibolite à épidote
GTMP018	GUYANE	MARIPASOULA	Piste Sophie	158073	406663	Dolérite
GTMP019	GUYANE	MARIPASOULA	Piste Sophie	163698	402765	Amphibolite/Métabasalte

Tableau 1 : Tableau des coordonnées des points d'observation de cette étude.

3.2. CARACTÉRISATION PÉTROGRAPHIQUE

Afin de caractériser plus finement les lithologies des grandes unités morpho-lithostructurales du secteur étudié, 11 lames minces ont été réalisées et observées au microscope optique à lumière polarisée. Ce paragraphe présente les observations pour les 6 échantillons qui ont par la suite fait l'objet d'analyses géotechniques.

3.2.1. Assemblage minéralogique

a) Les métavolcanites

GTMP001A (amphibolite/métabasalte) : au microscope, cet échantillon présente une texture mylonitique à ultramylonitique. Il est composé de plagioclase, de chlorite, d'amphiboles et, dans une moindre mesure d'épidote, de carbonate, d'opaque et d'oxyde. Des fantômes d'anciens minéraux (grenat ou pyroxène) sont souvent identifiables dans la lame. Ils apparaissent sous la forme d'agrégat à amphibole, épidote et chlorite. Les plagioclases forment des porphyroclastes arrondis, parfois de type σ ou δ soulignant la foliation. De plus, ils présentent souvent une extinction légèrement roulante et peuvent être quasi entièrement recristallisés en petits grains micrométriques. L'amphibole est principalement de type actinolite, plus rarement de type trémolite. Elle apparaît dans la trame de la roche en petites baguettes plus ou moins fibreuses et souples, ce qui leur donne parfois un caractère asbestiforme (actinolite/trémolite amiante). L'épidote (pistachite probable) est assez rare dans la lame. Elle forme des petits grains hétérométriques de quelques micromètres à quelques dizaines de micromètres. Les carbonates sont rares et issus de l'altération des plagioclases.

GTMP006A (métabasalte) : au microscope, cette roche présente une texture microlithique héritée légèrement masquée par une texture porphyroclastique. Elle est constituée de plagioclase, de clinopyroxène, d'orthopyroxène, de chlorite, d'épidote, et d'amphibole. Accessoirement, du rutile a aussi été identifié. Les pyroxènes, sub-automorphes à automorphes, forment des porphyroclastes soulignant la foliation. Ils sont souvent partiellement à totalement recristallisés. Les plagioclases apparaissent en plages polycristallines héritées d'anciens cristaux automorphes et transposés dans le plan de foliation. L'amphibole (type actinolite) constitue la trame de la roche ; elle forme de fines aiguilles (parfois asbestiformes) et plus rarement des micrograins. L'assemblage minéralogique est complété par de la chlorite en plages lamellaires et par des petits cristaux sub-automorphes à automorphes opaques (pyrite?).

GTMP008 (gneiss à amphibole/méta-andésite) : la roche présente une texture mylonitique. Elle est constituée de plagioclase, de quartz, d'amphiboles, d'épidote, de chlorite et de rutile. Le plagioclase et le quartz apparaissent principalement finement recristallisés dans la trame de la roche et, dans une moindre mesure, en porphyroclastes, parfois de type σ ou δ , à queue de cristallisation. Par ailleurs, dans le prolongement des porphyroclastes, le quartz forme des proto-rubans soulignant la foliation. Deux types d'amphiboles peuvent être identifiés dans la lame. Le premier type correspond à une amphibole brun-vert (hornblende possible) disposée en porphyroclastes ou en baguettes plus ou moins transposés dans le plan de foliation. À noter que les queues de cristallisation de ces amphiboles sont constituées de plagioclase, de chlorite, d'actinolite et d'épidote. Le second type est une amphibole vert pâle (actinolite) formant de fines baguettes plus ou moins aciculaires et soulignant la foliation. L'épidote apparaît en grain micrométrique dans la trame de la roche. La chlorite forme des lamelles soulignant la foliation et développées aux dépens des amphiboles.

GTMP010 (méta-andésite) : au microscope, la roche présente une texture microlithique héritée fortement masquée par le développement d'une texture mylonitique. Elle est constituée de plagioclase, d'amphibole, d'épidote et de quartz. Le plagioclase et le quartz apparaissent finement recristallisés dans la trame de la roche ou forment des porphyroclastes de type σ plus ou moins transposés dans le plan de foliation. Les amphiboles sont brun-vert (hornblende probable) et forment des porphyroclastes plus ou moins finement recristallisés et transposés dans le plan de foliation. Enfin, l'épidote est très abondante et forme des micrograins développés par saussuritisation des plagioclases.

b) Roches plutoniques

GTMP012 (granodiorite à biotite) : au microscope, la roche présente une texture grenue à plagioclase, quartz, feldspath alcalin, biotite, sphène, épidote et opaques. Les plagioclases sont subautomorphes à automorphes et sont souvent zonés. Le quartz forme des agrégats polycristallins à texture inéquigranulaire interlobée. Ils présentent souvent une légère extinction roulante. Le feldspath alcalin est principalement de type microcline et apparaît en cristaux xénomorphes interstitiel. La biotite apparaît brun vert (chloritisation ?) et forme des lamelles non orientées. Les minéraux opaques ainsi que le sphène sont fréquents. Ils forment des cristaux respectivement xénomorphes et subautomorphes à automorphes. Enfin, l'épidote apparaît en micrograins développés par saussuritisation des plagioclases.

GTMP015 (tonalite à amphibole) : au microscope, cette roche présente une texture grenue. Le plagioclase forme des cristaux subautomorphes à automorphes dessinant une texture inéquigranulaire polygonale. Le quartz occupe une position interstitielle apportant une texture amiboïde à la roche. L'amphibole forme des plages de petits cristaux enchevêtrés. Elle est parfois altérée en chlorite. L'épidote (pistachite) est très abondante et se développe aux dépens des plagioclases (saussuritisation). Enfin, le sphène apparaît en petits cristaux automorphes et les opaques (accessoires) forment des petits cristaux xénomorphes.

3.2.2. Indices de réactivité en milieux alcalin

Les observations au microscope optique à lumière polarisée permettent aussi de préciser la réactivité de la roche en milieu alcalin. Concernant les roches prélevées dans le cadre de cette étude, il apparaît que les métavolcanites présentent toutes des indices de minéraux ou des textures sensibles en milieu alcalin. Les principaux indices identifiés sont les suivants :

- quartz à réseau déformé présentant une extinction roulante ;
- quartz microcristallin à cryptocristallin ;
- microquartz formé par recristallisation ;
- minéraux feldspathiques altérés ;
- texture mylonitique à porphyroclastique.

3.2.3. Amiante environnemental naturel

Les observations au microscope à lumière polarisée ont aussi permis de pointer du doigt la présence de fibres asbestiformes d'actinolite, voire de trémolite. Ces fibres font parties des amiantes et, compte tenu de la lithologie (i.e., mafiques) et du degré de métamorphisme (i.e., schiste vert) de ces roches, il est très probable que des veines riches en actinolite/trémolite-amiante soient présentes dans ce type de roche.

4. Caractérisation géotechnique

4.1. NORMES ET ESSAIS DE CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX POUR LE SECTEUR DU BTP

4.1.1. Contexte législatif et normatif de l'étude

Depuis 2003, un arrêté interministériel impose que tous les granulats destinés à la construction sur le marché français soient encadrés par le marquage CE. Ce marquage découle de la directive européenne « Produits de la construction (DPC 89/106/CEE) » publiée en 1989. De ce fait, les granulats doivent répondre à un certain nombre de critères en fonction de leur domaine d'application. Les spécifications sont définies dans des normes telles que la norme NF P 18 545 (septembre 2011) pour les granulats. À ce titre, le lecteur pourra trouver de plus amples informations en consultant les liens suivants :

- <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2003/6/27/EQUE0301038A/jo/texte> ;
- <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A31989L0106>.

L'objectif de cette étude étant de vérifier les possibilités d'utilisation des roches dures disponibles dans le secteur de Maripasoula-Papaïchton en granulat pour les travaux du BTP, la caractérisation physico-chimique des roches s'est basée sur la norme NF P 18 545 (Articles 7, 8, 9, 10) et GTR 2000 (Guide technique : réalisation des remblais et des couches de forme). Ces normes sont applicables aux granulats pour les utilisations suivantes :

- chaussées fondation, base et liaison ;
- chaussées couches de roulement ;
- chaussées bétons de ciment ;
- bétons hydrauliques et mortiers.

La liste des essais effectués sur les échantillons pour la réalisation de fiche d'identité des différents faciès en fonction de ces normes est présentée dans le Tableau 2.

Caractérisation géotechnique de six lithologies du secteur Papaïchton-Maripasoula (Guyane française)

Types d'essais	Caractéristiques	Commentaires
Granulométrie (Gr) / Teneur en fine / Module de finesse (FM)	Représentation de la distribution dimensionnelle des grains composant un granulat.	<i>La courbe granulométrique est importante pour la bonne composition du béton.</i>
Valeur au bleu de méthylène (VBM) ou Equivalent de sable (SE)	Evaluation de la richesse en argile d'un sol.	<i>Un taux d'argile trop important peut entraîner des gonflements et altération à terme des bétons. Plus la valeur de VBM est petite, plus les sables sont propres.</i>
Masse volumique réelle et apparente	Détermination de la masse du granulat sec occupant l'unité de volume.	<i>La masse volumique dépend du tassement des grains.</i>
Absorption d'eau (Ab)	Détermination de la capacité d'absorption d'eau d'un granulat.	<i>Plus il est élevé, plus le matériau est absorbant.</i>
Alcali réaction et Alcalin actifs	Désignation des granulats par rapport à l'alcali-réaction : <ul style="list-style-type: none"> - non réactifs (NR), - potentiellement réactifs (PR), - potentiellement réactifs à effet de pessimum (PRP) s'ils ont une très forte réactivité lorsque leur teneur est dans un certain intervalle. 	<i>L'alcali-réaction est un paramètre déterminant pour les applications bétons car elle peut provoquer un gonflement.</i> <i>Dans des conditions défavorables (granulats contenant une fraction importante de silice soluble réactive dans un environnement riche en alcalin) et en présence d'humidité.</i>
Chlorure soluble dans l'eau	Détermination de la teneur en chlorure dans le granulat est déterminée.	<i>Les chlorures modifient la cinétique d'hydratation du ciment et provoquent la corrosion des armatures.</i>
Soufre total (S) et Sulfate soluble dans l'acide (AS)	Détermination de la teneur en soufre et en sulfate dans le granulat.	<i>Les granulats peuvent contenir de faibles quantités de sulfates et de sulfures sous réserve que leur teneur en soufre total S n'excède pas 0,4 % en masse. La teneur en sulfates (SO₃) doit être inférieure à 0,2 %. On la détermine si S est supérieure à 0,08 %.</i> <i>Les sulfures présents dans les granulats peuvent en s'oxydant se transformer en sulfates qui risquent de générer des phénomènes de gonflement, de fissuration ou de corrosion des armatures.</i>
Impuretés prohibées (ImP)	Détermination de la présence ou non d'impuretés prohibées.	<i>Les impuretés perturbent l'hydratation du ciment et entraînent des défauts d'adhérence granulats/pâte.</i>
Polluants organiques	Détermination de la présence ou non de polluants organiques dans le granulat.	<i>Influence défavorable sur la prise et le durcissement, chute de résistances</i>
Angularité	Etude de la morphoscopie des grains et de l'angularité.	<i>La forme des grains peut avoir un impact direct la compacité du béton et sur sa mise en œuvre.</i>
Résistance au gel / dégel (G)	Détermination de la capacité du granulat a résisté au gel et au dégel.	<i>La vulnérabilité du granulat dans le béton à l'action du gel-dégel est fonction de sa nature, de son utilisation, des conditions climatiques et de la formulation du béton</i>
Friabilité des sables (FS)	Mesure de la résistance à la fragmentation des éléments d'un sable compris entre 0,1 et 4mm.	
Los Angeles (LA)	Détermination de la résistance à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques de la matrice d'une roche.	<i>Plus le coefficient LA est faible, plus la résistance des gravillons est élevée.</i>
Coefficient d'aplatissement (A)	Détermination de la forme des gravillons à partir de sa plus grande dimension et de son épaisseur.	<i>Plus A est élevé, plus le gravillon contient d'éléments plats. Une mauvaise forme à une incidence sur la maniabilité et favorise la ségrégation.</i>
Micro Deval (M_{De})	Evaluation de la résistance à l'usure par frottement des granulats.	
Porosité	Représente le rapport du volume des vides contenus dans les grains au volume des grains	<i>La porosité des granulats courants est en général très faible. Elle est importante dans le cas des granulats légers.</i>
Polissage (CPA)	La résistance au polissage des gravillons concerne les granulats utilisés pour la réalisation de couches de roulement.	<i>Plus le coefficient de polissage accéléré (CPA) est élevé, plus la résistance au polissage est importante.</i>

Tableau 2 : Liste des essais à réaliser pour la caractérisation d'échantillons à destination du secteur du BTP.

Les fractions granulométriques suivantes (en mm) ont été sélectionnées afin de fournir des données correspondant aux granulats les plus utilisés dans le secteur de la construction :

- **graves** : 0/10, 0/12.5, 0/14, 0/16, 0/20, 0/31,5, 0/40, 0/45, 0/63, 0/80, 0/100, 0/120, 0/150, 0/250) ;
- **sables** : 0/1, 0/2, 0/3, 0/4, 0/8.

Dans le cadre de cette étude, les essais physico-chimiques listés dans le tableau ci-dessus ont été réalisés uniquement sur les fractions 0/2 mm et 0/63 mm. Ce choix est basé sur le fait que ces fractions sont fréquemment utilisées dans le milieu du BTP et par le fait que les capacités de prélèvement étaient limitées (prélèvements manuels à la massette).

4.1.2. Éléments de références pour l'analyse et l'interprétation des résultats

Toutes les normes utilisées pour la caractérisation des lithologies sont citées au début des paragraphes d'interprétation.

a) *Granulométrie*

Concernant la norme NF P 18 545 – Article 7, il est important de signaler que la définition des granulats utilisée est celle décrite dans la norme NF EN 13 242 + A1 (Tableau 3).

Dénomination	Définition	Catégorie
Sable	$d = 0$ et $D \leq 6,3$ mm	G _F
Gravillon	$d \geq 1$ et $D > 2$ mm	G _C
Grave	$d = 0$ et $D > 6,3$ mm	G _A

Tableau 3 : Caractéristiques générales de granularité selon la norme NF EN 13 242 + A1.

b) *Équivalent de sable*

La caractérisation des résultats d'essais d'équivalent de sable est établie dans la norme NF P 18 545 – Article 10 et dans les normes « produits » associées (NF EN 12 620 et NF EN 13 139).

Cependant, à titre indicatif, les valeurs ci-dessous (Tableau 4) sont celles préconisées par la méthode de Dreux- Gorisse pour le béton.

SE	Nature et qualité du sable
SE < 60	Sable argileux - Risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité
60 ≤ SE < 70	Sable légèrement argileux - de propreté admissible pour béton de qualité quand ou ne craint pas particulièrement de retrait
70 ≤ SE < 80	Sable propre - à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
SE > 80	Sable très propre - l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

Tableau 4 : Tableau des valeurs de référence pour l'interprétation des résultats des essais d'équivalent de sable.

c) Classification du trafic pour la norme NF P 18 545 – Articles 7, 8 et 9

Pour une utilisation dans des chaussées, les granulats sont choisis en fonction du trafic que devra supporter l'ouvrage à réaliser. Les classes de trafic sont établies par rapport à des seuils exprimés en trafic de poids lourds journalier moyen (PL – MJA) sur la voie la plus chargée. Le terme de poids lourds étant attribué à des véhicules dont la charge est supérieure ou égale à 5 tonnes.

Classe de trafic	T5	T4	T3	T2	T1	T0	> T0
Seuils de trafic (PL - MJA)	25	50	150	300	750	2 000	

Tableau 5 : Définition des classes de trafic en fonction des seuils de trafic exprimés en poids lourds journalier moyen.

4.2. ANALYSES ET RÉSULTATS

4.2.1. Analyses réalisées

Dix-neuf essais, concernant six lithologies différentes, ont été réalisés dans le cadre de ce projet.

Les analyses géotechniques ont été effectuées par le laboratoire EUROFINs Analyses des Matériaux et Combustibles entre le mois de mars 2019 et le mois de juin 2019. Les essais ont été menés en conformité avec les normes présentées dans le Tableau 6 et qui sont celles en vigueur à la date de réalisation de l'étude.

Nom de l'essais	Norme associée
Pourcentage de surfaces cassées	NF EN 933-5
Analyse granulométrique par tamisage	NF EN 933-1
Masse volumique en vrac	NF EN 1097-3
Essai d'équivalent de sable	NF EN 933-8
Masse volumique & absorption d'eau avec fines	Méthode interne - FD P 18-663
Impuretés prohibées	NF P 18-545 §9 et §10
Coefficient de friabilité des sables	NF P 18-576
Chlorures solubles dans l'eau	NF EN 1744-1, § 8
Sulfates solubles dans l'acide	NF EN 1744-1, § 12 (Version abrogée de 1998)
Réactivité aux alcalins (essai sur micromortier)	NF P 18-594 §5.2
Réactivité aux alcalins (essai à l'autoclave)	NF P 18-594 §5.1
Alcalins solubles dans l'eau de chaux	XP P 18-544
Matière humique	NF EN 1744-1, § 15.1
Coefficient de polissage accéléré CPA (PSV)	NF EN 1097-8
Coefficient d'aplatissement	NF EN 933-3
Résistance à la fragmentation (Los Angeles)	NF EN 1097-1
Résistance à l'usure Micro Deval	NF EN 1097-1
Valeur au bleu de méthylène (MB)	NF EN 933-9
Teneur en soufre total	NF EN 1744-1
Résistance au gel /dégel	NF EN 1367-1

Tableau 6 : Liste des essais réalisés en laboratoires et des normes associés.

La réduction des échantillons aux fraction 0/31,5 mm, 0/4 mm et 0/2 mm a été réalisée par EUROFINS. Les échantillons ont été réduit dans un premier temps à l'aide d'un marteau piqueur, puis à la masse, avant d'être enfin passé dans le broyeur du laboratoire.

Dans un premier temps, les analyses granulométriques ont été menées sur la fraction 0/63 mm. Puis, dans un second temps, au vue des résultats obtenus, les mêmes analyses ont été réalisées sur la fraction 0/2 mm. En effet, la fraction 0/2mm correspondant à celle d'un sable pouvant servir de sable correcteur pour les bétons, sa courbe granulométrique apporte des éléments de réflexion supplémentaires pour l'étude du potentiel d'emploi de ces lithologies pour le secteur du BTP.

Les résultats présentés dans ce rapport sont basés sur une campagne de prélèvements ponctuels localisés sur de petites zones géographiques.

Les échantillons ont été récupérés en surface. De petites variations pourraient être observées si des investigations étaient menées en profondeur.

4.2.2. Résultats

a) Analyses granulométriques, équivalents de sables et valeurs au bleu

- **Analyse granulométrique sur la fraction 0/63 mm**

Tous les échantillons ont été analysés par tamisage à sec au laboratoire sur la fraction 0/63 mm. À noter qu'une colonne de tamis allant jusqu'à 125 mm a été utilisée. Les résultats sont présentés sur la Figure 5 et la Figure 6. Aucun refus n'a été observé dans les tamis de maille supérieur à 63 mm, ce qui confirme que la réduction a été correctement réalisée.

Les courbes des répartitions granulométriques montrent une distribution hétérogène en fonction de la lithologie étudiée.

Sur le tamis de 31,5 mm, les échantillons ont un passant allant de 39 % (GTMP008) à 57 % (GTMP015). Les échantillons GTMP001, GTMP006 et GTMP010 ont un passant à 54 % tandis que celui de GTMP001 est à 44 %.

Au tamis de 16 mm, le pourcentage de passant est très variable allant de 10 % (GTMP008) à 49 % (GTMP010). En effet, l'échantillon GTMP001 est à 20 %, GTMP006 est à 32 %, GTMP012 est à 34 % et GTMP015 est à 43 % de passant. Ainsi, l'échantillon GTMP008 est plus grossier que l'échantillon GTMP010.

Au tamis de 8 mm, la variation du pourcentage de passant s'étend de 6 % (GTMP008) à 33 % (GTMP010). Les autres échantillons sont respectivement à 16 % (GTMP001), 17 % (GTMP006), 23 % (GTMP012) et 30 % (GTMP015) de passant sur ce tamis.

Au tamis de 5 mm, les résultats sont compris entre 5 % (GTMP008) et 23 % (GTMP010) de passant. Les échantillons GTMP001 et GTMP006 sont tous deux à 14 % de passant sur ce tamis alors que les échantillons GTMP012 et GTMP015 sont respectivement à 16 % et 19 %.

Au tamis de 4 mm, le pourcentage de passant est compris entre 5 % (GTMP008) et 15 % (GTMP010). Les échantillons GTMP001 et GTMP012 sont tous deux à 10 % de passant sur ce tamis alors que les échantillons GTMP006 et GTMP015 sont respectivement à 12 % et 11 %.

Au tamis de 2 mm, le pourcentage de passant est compris entre 5 % (GTMP008) et 12 % (GTMP010). L'échantillon GTMP006 est à 8 % de passant tandis que les échantillons GTMP001, GTMP012 et GTMP015 sont tous les trois à 9 % sur ce tamis.

Au tamis de 1 mm, le pourcentage de passant est compris entre 5 % (GTMP008) et 10 % (GTMP010). L'échantillon GTMP006 est à 6 % de passant tandis que les échantillons GTMP001, GTMP012 et GTMP015 sont tous les trois à 7 % sur ce tamis.

Au tamis de 0,5 mm, le pourcentage de passant est de 5 % pour tous les échantillons à l'exception du GTMP010 qui est à 9 % sur ce tamis.

Au tamis de 0,250 mm, le pourcentage de passant est de 4 % pour tous les échantillons à l'exception du GTMP008 qui est à 5 % et du GTMP010 qui est à 8 % sur ce tamis.

Au tamis de 0,125 mm, le pourcentage de passant est de 3 % pour les échantillons GTMP006 et GTMP015, de 4 % pour GTMP001, GTMP008 et GTMP012 et l'échantillon GTMP008 est à 8 % sur ce tamis.

Au tamis de 0,063 mm, le pourcentage de passant est de 2 % pour les échantillons GTMP006 et GTMP015, de 4 % pour GTMP001, GTMP008 et GTMP012 et l'échantillon GTMP008 est à 8 % sur ce tamis.

Dans l'ensemble, l'échantillon GTMP010 possède la granulométrie la plus fine et l'échantillon GTMP008 a la granulométrie la plus grossière. Une nuance est cependant à apporter sur les derniers tamis de la série (de 0,063 mm à 0,250 mm) GTMP006, GTMP012 et GTMP001 sont plus grossiers que GTMP008. Il est aussi à noter que ponctuellement sur le tamis de 31,5 mm GTMP015 est plus fin que GTMP0010.

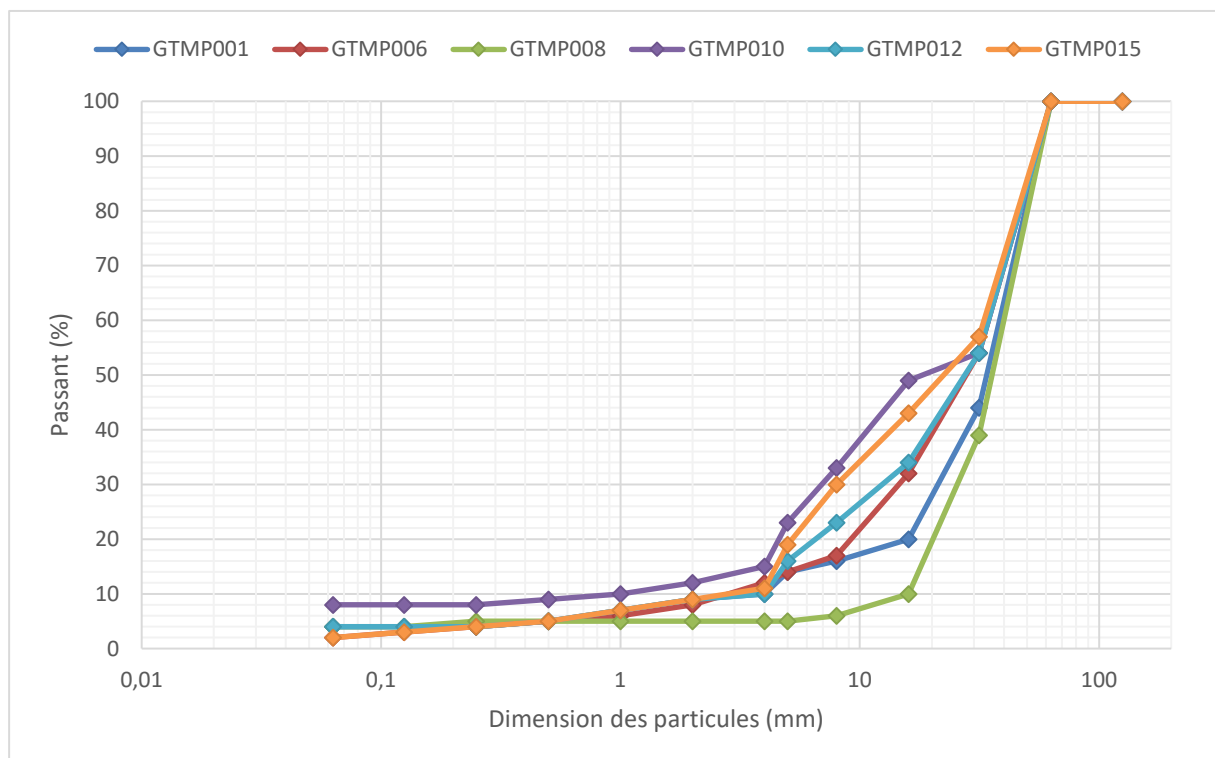


Figure 5 : Courbes granulométriques de la fraction 0/125 mm en % de passant des échantillons.

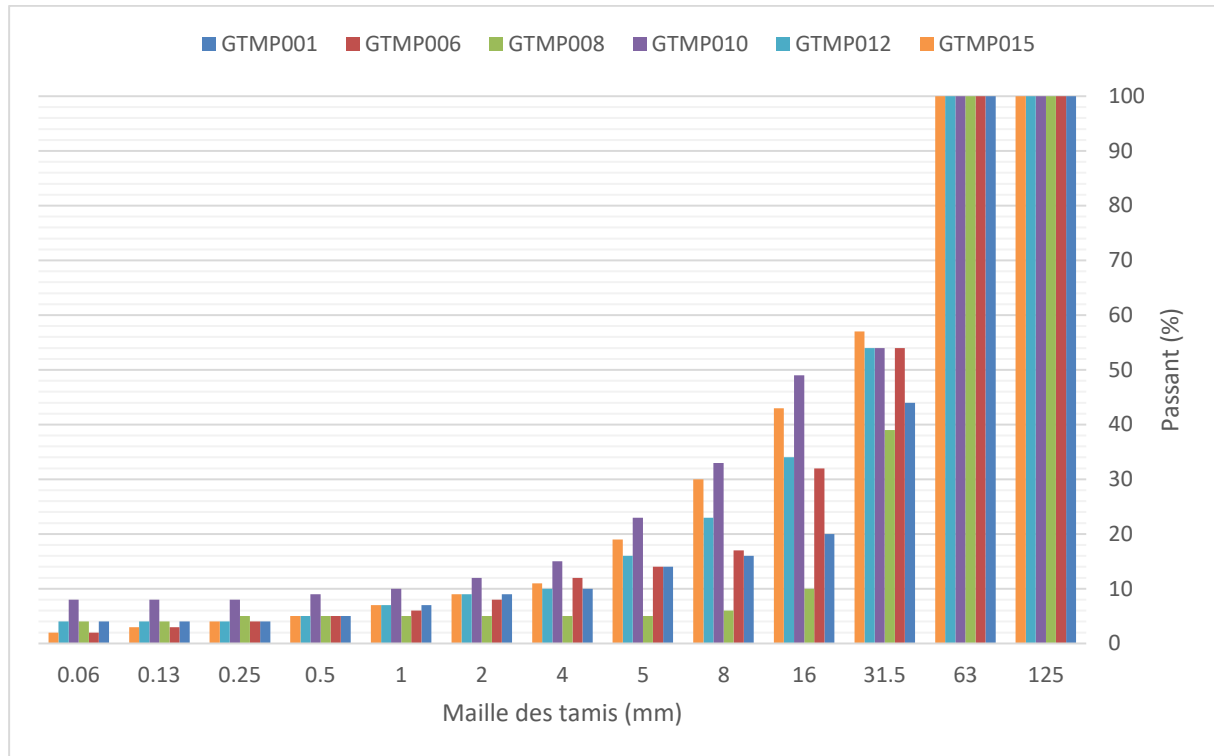


Figure 6 : répartition granulométrique de la fraction 0/125 mm en % de passant des échantillons.

- **Analyse granulométrique sur la fraction 0/2 mm**

L'ensemble des échantillons a été analysé par tamisage à sec sur la fraction 0/2 mm. Les résultats sont présentés sur la Figure 7 et la Figure 8. À noter que de la même manière que pour la fraction 0/125 mm, aucun refus n'est observé dans les tamis de maille supérieure à 2 mm, ce qui confirme la bonne réduction de l'échantillon.

Les courbes granulométriques de tous les échantillons ont globalement la même tendance (Figure 7).

Sur le tamis de 1,25 mm, les échantillons ont un passant allant de 84 % (GTMP012) à 72 % (GTMP006). Les autres échantillons sont respectivement à 77 % (GTMP010), 79 % (GTMP008 et GTMP012), 82 % (GTMP015) de passant sur ce tamis.

Au tamis de 1 mm, le pourcentage de passant est compris entre 64 % (GTMP006) et 75 % (GTMP012). Les échantillons GTMP001 et GTMP015 sont tous deux à 71 % de passant sur ce tamis alors que les échantillons GTMP010 et GTMP008 sont à 69 %.

Au tamis de 0,5 mm, la variation du pourcentage de passant s'étend de 42 % (GTMP006) à 50 % (GTMP012). Les autres échantillons sont respectivement à 43 % (GTMP008), 44 % (GTMP015), 47 % (GTMP010) et 49 % (GTMP001) de passant sur ce tamis.

Au tamis de 0,25 mm, le pourcentage de passant est compris entre 25 % (GTMP006) et 31 % (GTMP010). L'échantillon GTMP006 est à 25 % de passant, GTMP008 est à 26 %, GTMP001 et GTMP012 sont tous deux à 27 % et enfin GTMP015 est à 29 % de passant sur ce tamis.

Au tamis de 0,125 mm, le pourcentage de passant est compris entre 7 % (GTMP001) et 14 % (GTMP015). L'échantillon GTMP010 est à 9 % de passant, GTMP006 et GTMP008 sont tous deux à 10 % et enfin GTMP012 est à 12 % de passant sur ce tamis.

Au tamis de 0,063 mm, le pourcentage de passant est compris entre 3 % (GTMP015) et 5 % (GTMP008). Tous les autres échantillons sont à 4 % sur ce tamis.

Le taux de fine varie entre 2,7 % (GTMP015) et 4,6 % (GTMP008). L'échantillon GTMP012 a quant à lui un taux de fine de 3,5 % tandis que GTMP006 et GTMP010 ont une teneur à 3,7 %.

Dans l'ensemble, l'échantillon GTMP012 possède la granulométrie la plus fine et l'échantillon GTMP006 a la granulométrie la plus grossière. Une nuance est cependant à apporter sur les derniers tamis de la série (de 0,063 mm à 0,250 mm) où la granulométrie de GTMP012 n'est plus la plus fine (exemple par rapport à GTMP015).

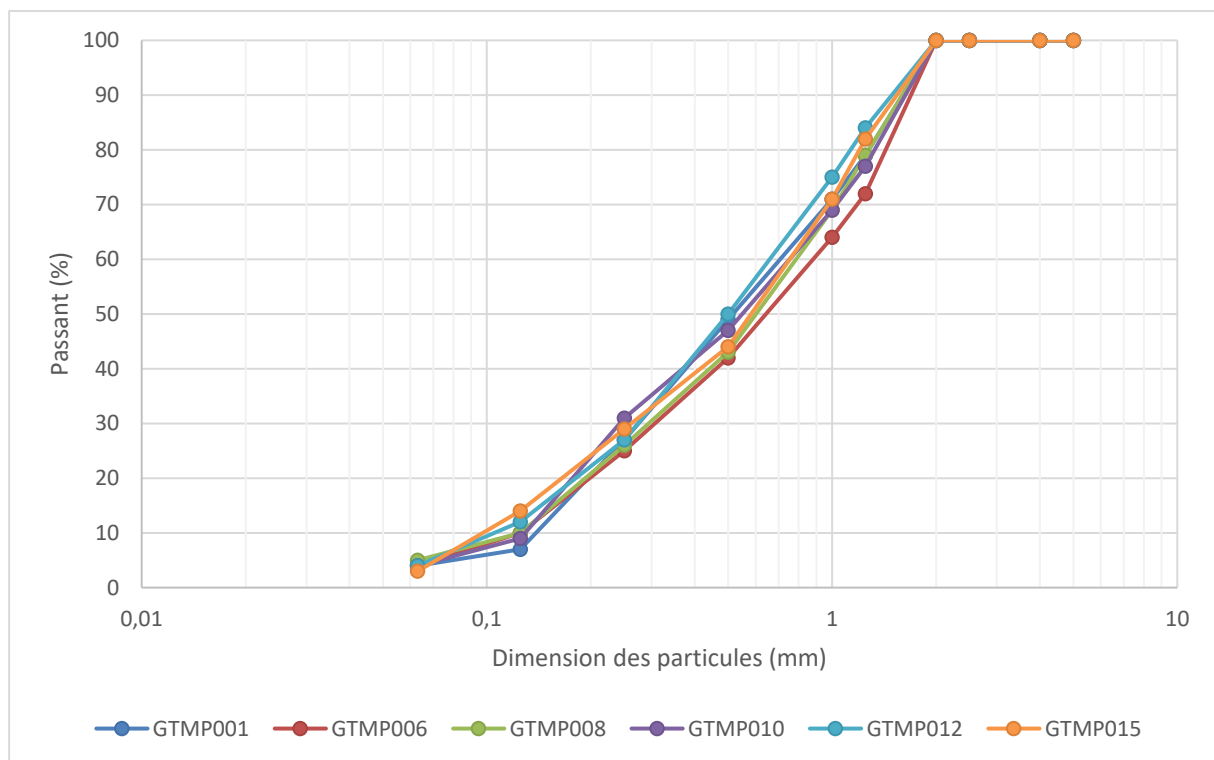


Figure 7 : Courbes granulométriques du 0/2 mm des échantillons de roches dures de 2019.

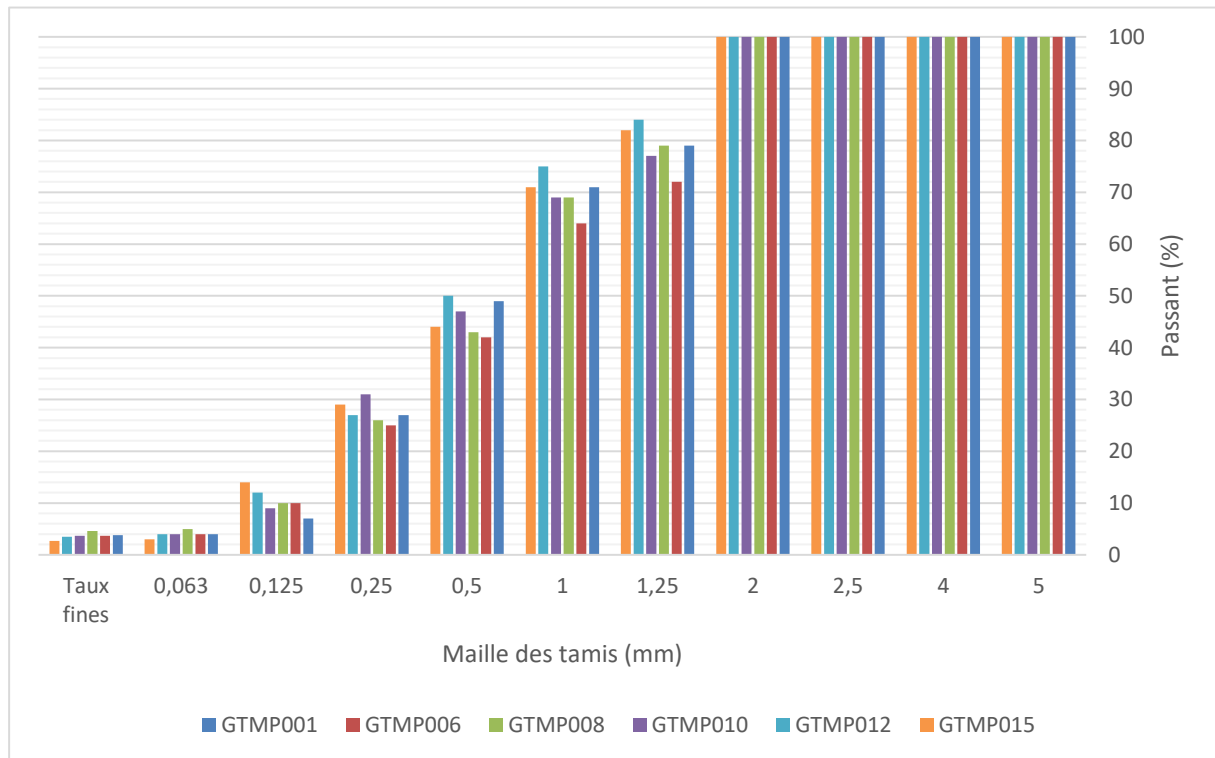


Figure 8 : Répartition granulométrique de la fraction 0/2 mm en % de passant des échantillons.

- **Essais d'équivalent de sable et de valeur au bleu de méthylène**

Tous les échantillons ont été soumis aux essais d'équivalent de sable et de valeur au bleu de méthylène afin d'évaluer la richesse en argile des matériaux (Figure 9).

Sur l'ensemble des échantillons, l'équivalent de sable (SE) des échantillons est compris entre 58 (GTMP010) et 92 (GTMP015). L'échantillon GTMP010 montre un taux de fines plus important que les autres. En effet, la teneur en fine (fraction inférieure à 63 µm) de GTMP10 est de 7,7 % alors que les autres échantillons sont compris entre 2,1 % (GTMP015) et 4,4 % (GTMP008). L'équivalent de sable est quant à lui de 58 pour l'échantillon GTMP010 tandis que les autres lithologies ont un SE compris entre 72 et 92.

La teneur en eau varie quant à elle de 1,7 % (GTMP015) et 3,2 % (GTMP010).

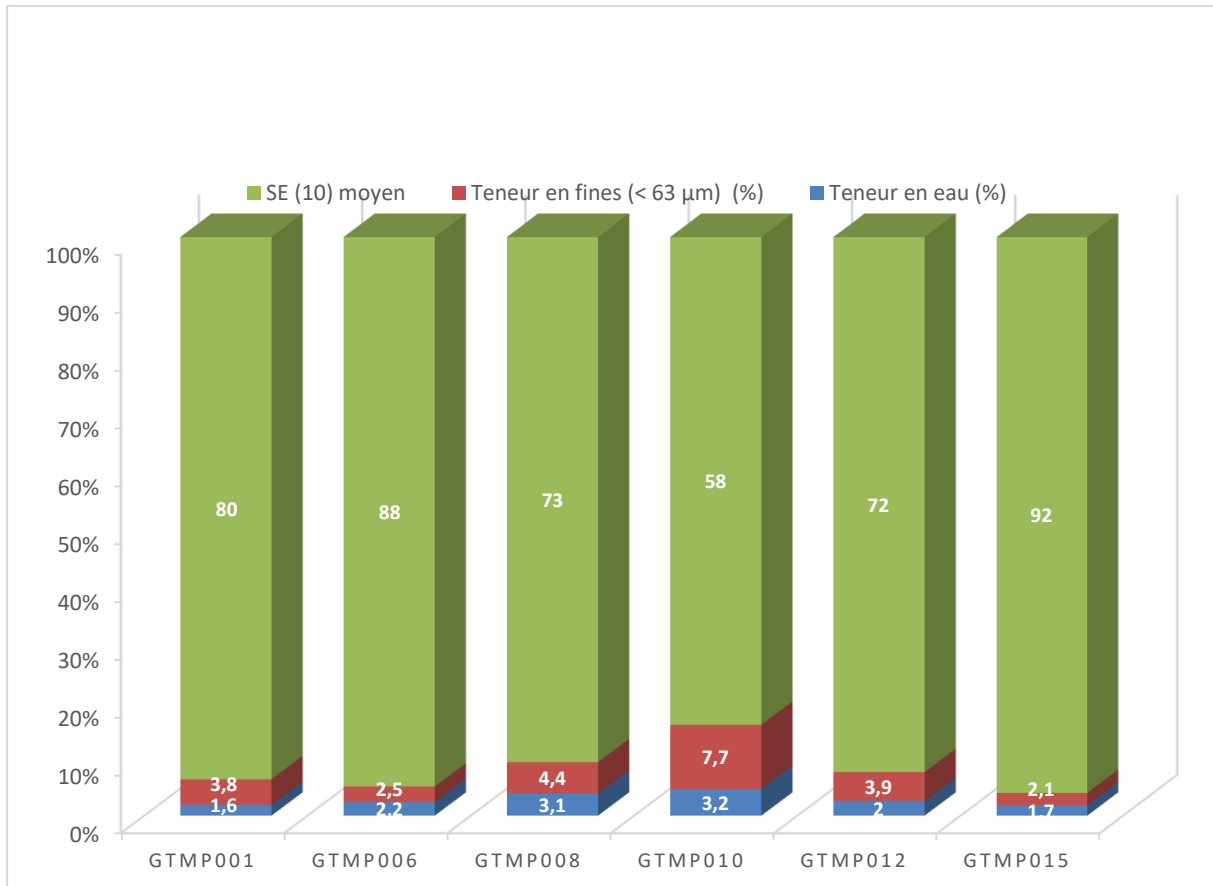


Figure 9 : Histogramme des résultats d'essais d'équivalent de sable des échantillons prélevés dans le cadre de cette étude.

Les essais de valeurs au bleu de méthylène peuvent être classés en trois catégories (Figure 10). La première, représentée par GTMP001, a une valeur au bleu de 0,5. La seconde comprend les échantillons GTMP006, GTMP008, GTMP010 et GTMP012 avec une valeur au bleu de 0,3. Enfin, l'échantillon GTMP015 de valeur au bleu égale à 0,1 constitue la dernière catégorie.

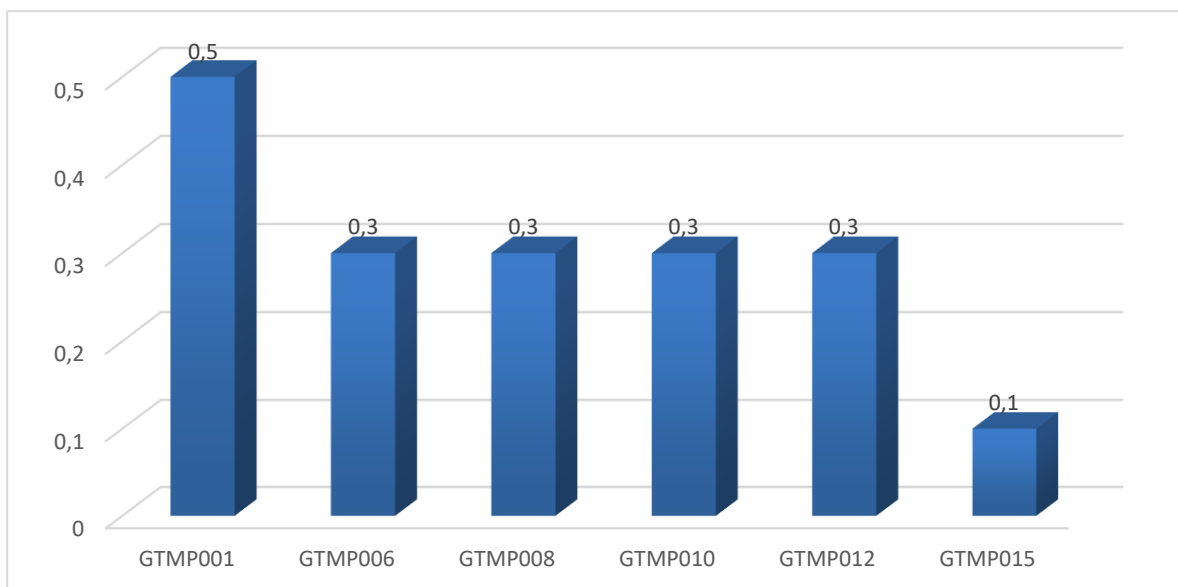


Figure 10 : Histogramme des valeurs au bleu de méthylène en g/kg (MB sur fraction 0/2 mm).

En considérant les écarts constatés entre les résultats des essais de valeur au bleu de méthylène (MB) et les essais d'équivalent de sable (SE), notamment pour GTMP010, la deuxième méthode paraît la plus cohérente par rapport aux résultats des analyses granulométriques. En effet, la valeur au bleu de méthylène de l'échantillon GTMP010 devrait, en théorie, être supérieure à celle des échantillons GTMP006, GTMP008 et GTMP012. Ces quatre échantillons ont la même valeur de MB à 0,3, alors que leurs taux de fines varient entre 2,5 et 7,7 (Figures 8, 9 et 10).

b) Masse volumique et coefficient d'absorption d'eau

La masse volumique absolue et le coefficient d'absorption d'eau ont été déterminés sur la fraction 0/4 mm pour tous les échantillons. Les résultats sont présentés sur la Figure 11.

Le coefficient d'absorption d'eau des échantillons est compris entre 0,4 % (GTMP001) et 2,1 % (GTMP008). L'échantillon GTMP015 a une absorption d'eau de 0,6 %, GTMP012 de 0,8 %, GTMP006 de 0,9 % et GTMP010 de 1,3 %.

La masse volumique absolue des échantillons varie de 2,64 mg/m³ (GTMP012) à 2,96 mg/m³ (GTMP006). Les autres échantillons ont une masse volumique absolue de 2,71 mg/m³ pour GTMP010, de 2,73 mg/m³ pour GTMP008, de 2,82 mg/m³ pour GTMP015 et enfin de 2,93 mg/m³ pour GTMP001.

La masse volumique réelle des échantillons varie entre 2,58 mg/m³ (GTMP008 et GTMP012) et 2,89 mg/m³ (GTMP001 et GTMP006). Les échantillons GTMP010 et GTMP015 ont respectivement des masses volumiques réelles de 2,61 mg/m³ et de 2,77 mg/m³.

La masse volumique en vrac des échantillons s'étend de 1,51 mg/m³ (GTMP010) à 1,65 mg/m³ (GTMP006). Les échantillons GTMP008 et GTMP012 ont une masse volumique en vrac de 1,54 mg/m³ tandis que GTMP015 a une valeur de 1,55 mg/m³ et GTMP001 de 1,57 mg/m³.

La similitude des échantillons GTMP008 et GTMP012 concernant leurs masses volumiques réelles et leurs masses volumiques en vrac est remarquable.

Globalement, trois ensembles se distinguent en considérant toutes les catégories de masses volumiques. Le premier ensemble est constitué des échantillons GTMP008, GTMP010 et de GTMP012. Ce groupe contient les masses volumiques les moins élevées. L'échantillon GTMP015 est quant à lui considéré comme un groupe intermédiaire. Enfin, le troisième ensemble, dont les masses volumiques sont les plus élevées, est constitué de GTMP006 et de GTMP001.

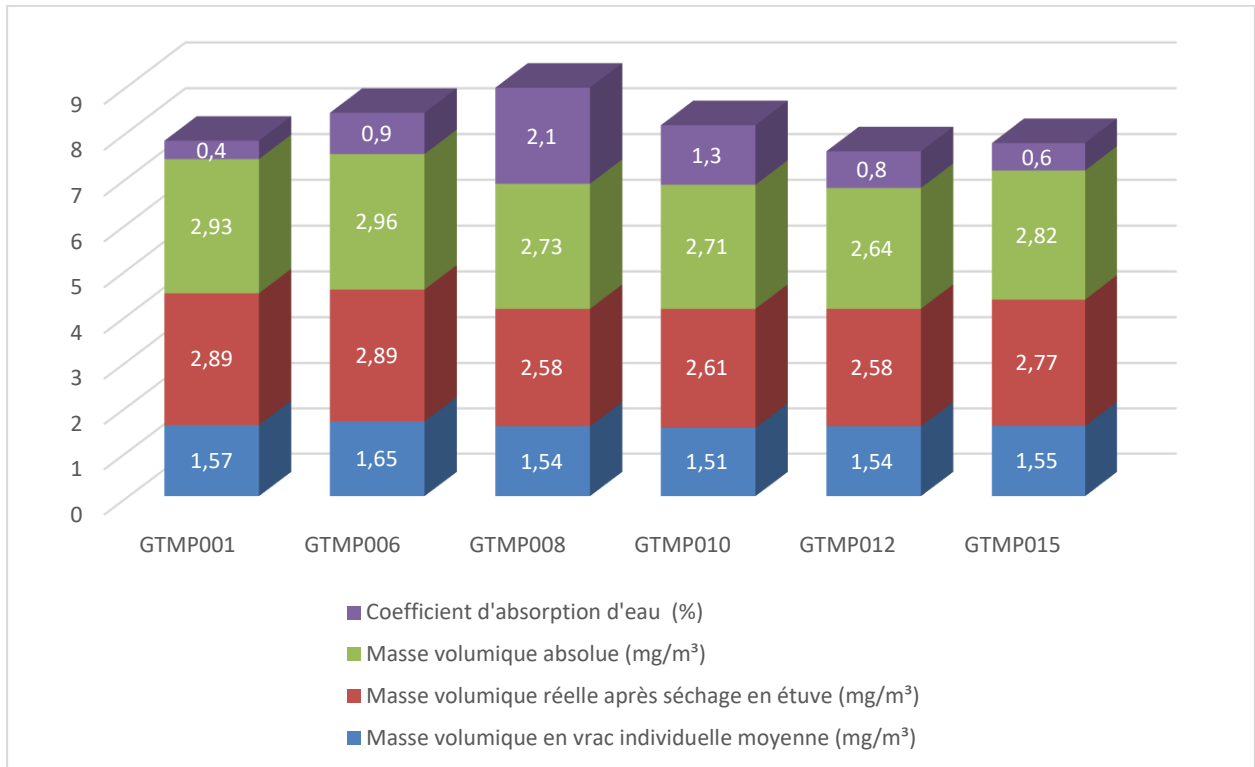


Figure 11 : Histogramme des masses volumiques et des absorptions d'eau des échantillons.

c) Impuretés prohibées

Cet essai est réalisé sur la fraction 0/31,5 mm et montre une teneur en impuretés prohibées inférieure à 0,1 % pour l'ensemble des échantillons.

d) Chlorures solubles dans l'eau

Le taux de chlorure soluble dans l'eau est inférieur à 0,001 % pour tous les échantillons.

e) Sulfate soluble dans l'acide

La teneur en sulfate soluble dans l'acide a été déterminé pour tous les échantillons. Les résultats sont présentés sur la Figure 12. Le taux de sulfates solubles dans l'acide est compris entre 0,02 % (GTMP006) et 0,054 % (GTMP 0,054). L'échantillon GTMP0012 contient 0,022 %, GTMP015 comporte 0,034 %, GTMP001 possède 0,04 % et GTMP010 renferme 0,05 % de sulfates solubles dans l'acide.

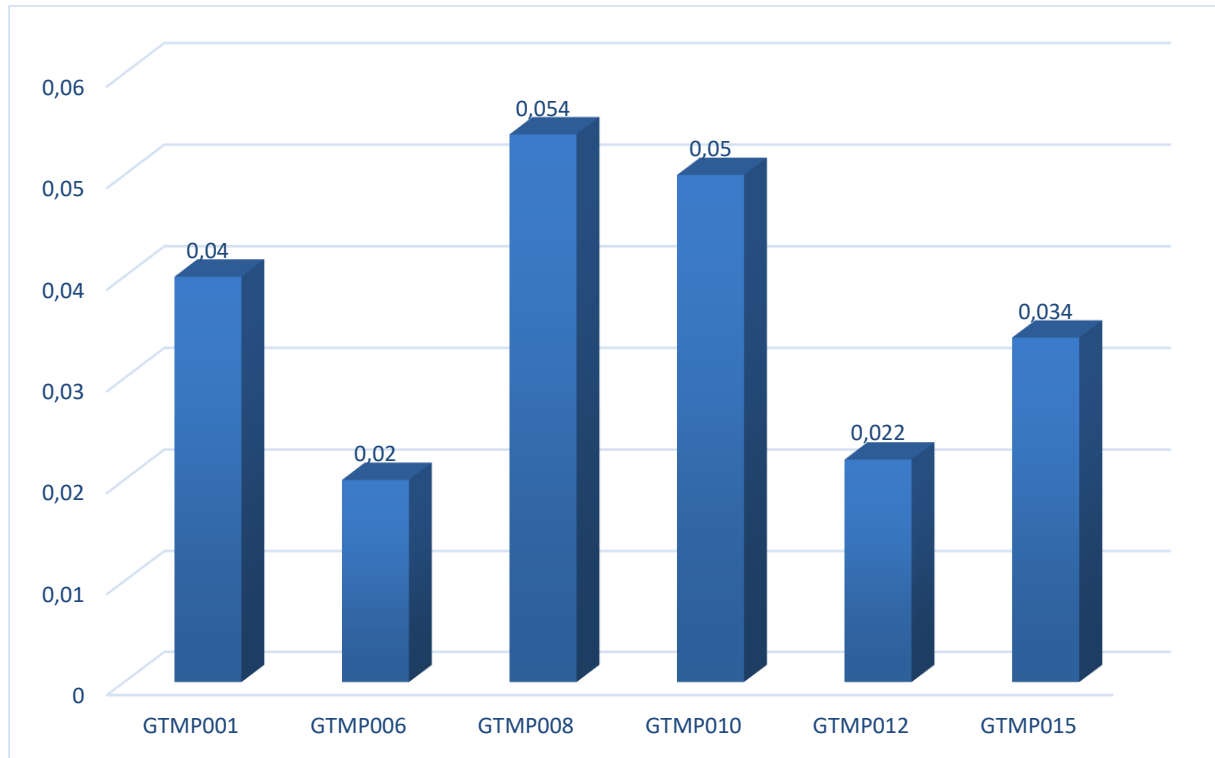


Figure 12 : Histogramme des teneurs de sulfates solubles dans l'acide (%) des échantillons.

f) Teneur total en soufre

La teneur totale en soufre pour chacun des échantillons est présentée sur la Figure 13. Tous les échantillons présentent une teneur inférieure à 0,2 % à l'exception de l'échantillon GTMP015 qui contient environ 0,1 %. Les échantillons GTMP008 et GTMP012 ont des teneurs en soufre total inférieures à 0,002 % tandis que GTMP010 est à 0,003 %, GTMP001 à 0,004 % et enfin GTMP006 à 0,016 %.

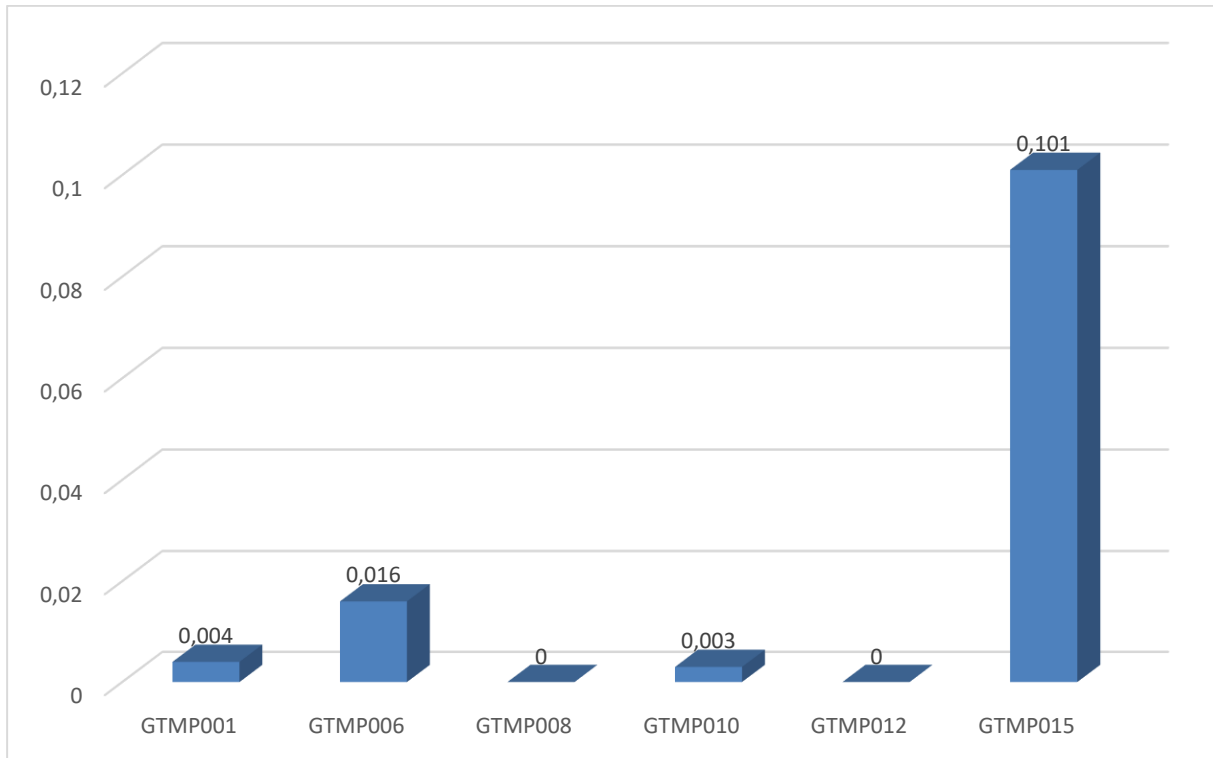


Figure 13 : Histogramme des teneurs totales en soufre (%) des échantillons analysés dans le cadre de cette étude.

g) Alcalins solubles dans l'eau de chaux

La teneur en alcalins solubles dans l'eau de chaux est analysée et exprimée en pourcentage pour chaque échantillon. Les résultats sont représentés dans l'histogramme Figure 14.

De tous les échantillons, GTMP015 contient le moins d'alcalins solubles dans l'eau, tandis que l'échantillon GTMP010 est celui qui en contient le plus. La teneur en équivalent Na_2O est respectivement de 0,0039 % pour GTMP015 et de 0,0529 % pour GTMP010. Les autres échantillons ont un équivalent Na_2O de 0,0049 % (GTMP006), 0,0085 % (GTMP008), 0,0089 % (GTMP001) et de 0,0141 % (GTMP012).

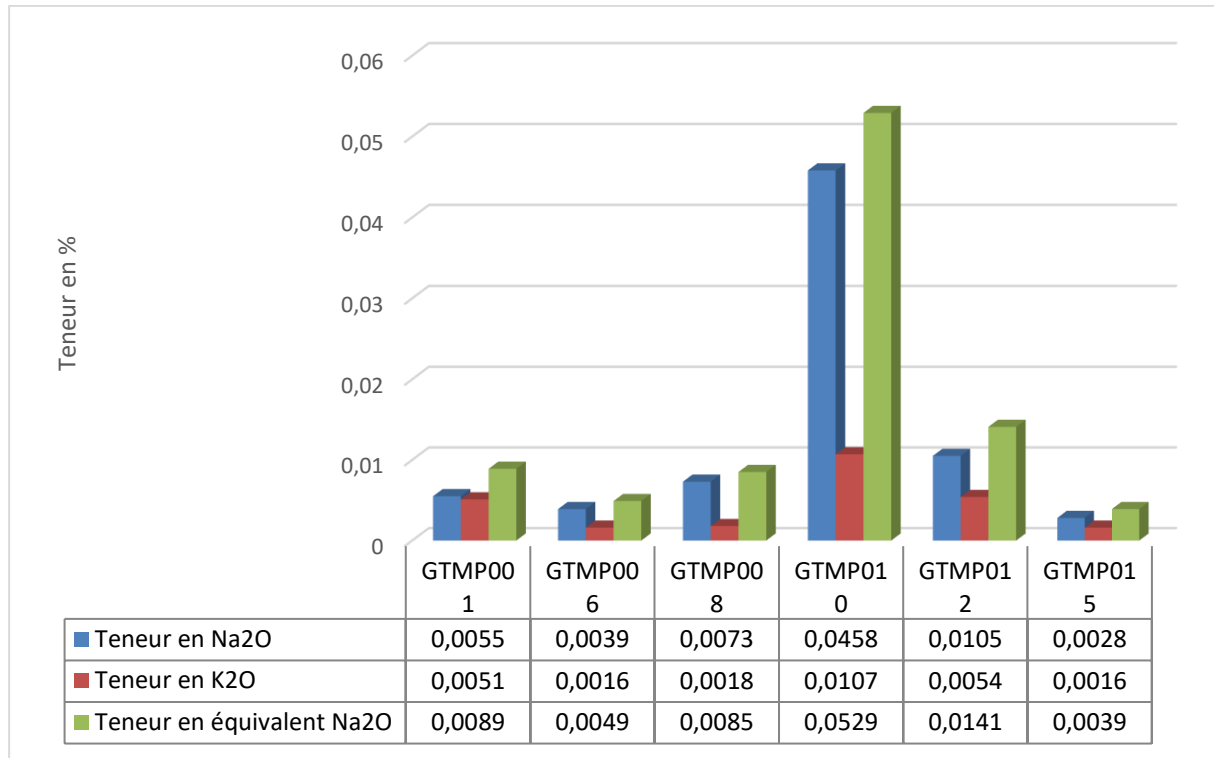


Figure 14 : Histogramme des teneurs en alcalins solubles dans l'eau de chaux des échantillons prélevés dans le cadre de cette étude.

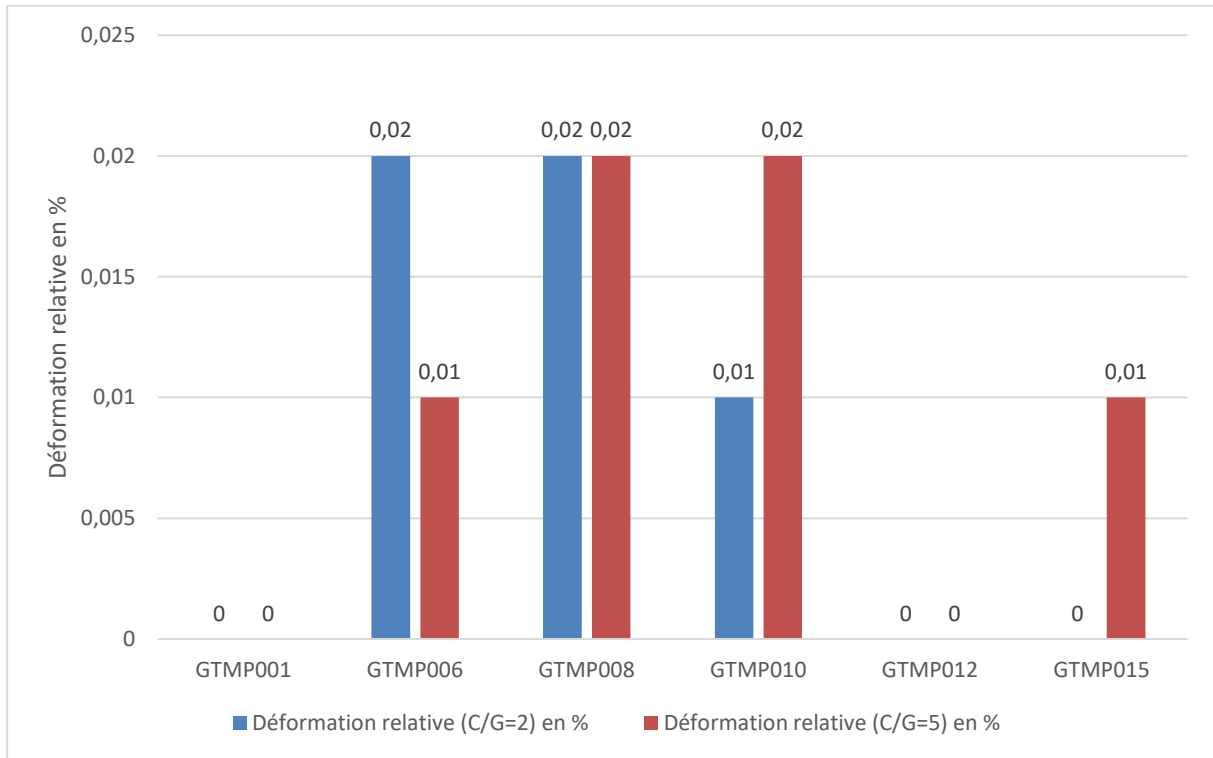
h) Réactivité aux alcalins (essais sur micromortier et à l'autoclave)

Deux méthodes ont été utilisées pour déterminer la réactivité aux alcalins des matériaux. Il s'agit des essais sur micromortier et à l'autoclave. Ces essais ont été complétés par une étude pétrographique au microscope optique polarisant.

- **Essais sur micromortier**

Les résultats sont présentés sur la Figure 15. La déformation relative ($C/G = 2$) est de 0,02 % pour les échantillons GTMP006 et GTMP008 et de 0,01 % pour GTMP010. Elle est inférieure à 0,01 % pour les autres échantillons. La déformation relative ($C/G = 5$) est de 0,02 % pour les échantillons GTMP008 et GTMP010, de 0,01 % pour GTMP006 et GTMP015. Elle est inférieure à 0,01 % pour les autres échantillons.

Les résultats des essais sur micromortier indiquent une non-réactivité au phénomène d'alcali-réaction pour tous les échantillons contrairement aux essais à l'autoclave.



	GTMP001	GTMP006	GTMP008	GTMP010	GTMP012	GTMP015
Déformation relative (C/G = 2) en %	<0,01	0,02	0,02	0,01	<0,01	<0,01
Déformation relative (C/G = 5) en %	<0,01	0,01	0,02	0,02	<0,01	0,01
Qualification de la réactivité selon FD P 18-542	Non Réactif	Non Réactif	Non Réactif	Non Réactif	Non Réactif	Non Réactif

Figure 15 : Essais sur micromortier – déformations relatives (C/G = 2) et (C/G = 5) en % des échantillons prélevés dans le cadre de cette étude.

- **Essais à l'autoclave**

Les résultats de la réactivité aux alcalins déterminée par les essais à l'autoclave sont présentés sur le Tableau 7. Ils indiquent la réactivité potentielle des échantillons GTMP006, GTMP008 et GTMP010. Les échantillons GTMP001 et GTMP015 sont quant à eux qualifiés de non-réactifs.

	GTMP001	GTMP006	GTMP008	GTMP010	GTMP012	GTMP015
Déformation relative (C/G = 0,5) en %	0,03	0,2	0,16	0,3	0,03	0,06
Qualification de la réactivité selon FD P 18-542	Non-réactif	Potentiellement réactif	Potentiellement réactif	Potentiellement réactif	Non-réactif	Non-réactif

Tableau 7 : Résultats des essais sur la réactivité aux alcalins à l'autoclave pour les échantillons prélevés dans le cadre de cette étude.

- **Observation pétrographique**

L'observation au microscope optique de la pétrographie et des textures des différents échantillons confirme le potentiel réactif des échantillons GTMP006 et GTMP008 selon les indices définis dans la norme XP P 18-543. Bien que les essais de micromortier et d'autoclave n'aient pas révélé de potentiel réactif pour la lithologie GTMP001, l'étude de la lame mince met en évidence plusieurs éléments (notamment la texture mylonitique) pouvant présenter un risque pour l'alcali-réaction.

i) Matière humique

Les tests de matière humique réalisés sur tous les échantillons sont négatifs.

j) Coefficient d'aplatissement

Les résultats sont présentés sur la Figure 16. Les échantillons GTMP001 et GTMP008 ont les coefficients d'aplatissement les plus élevés (7). Les échantillons GTMP006 et GTMP010 ont un coefficient d'aplatissement de 5, tandis que GTMP012 et GTMP015 ont respectivement des valeurs de 4 et 3.

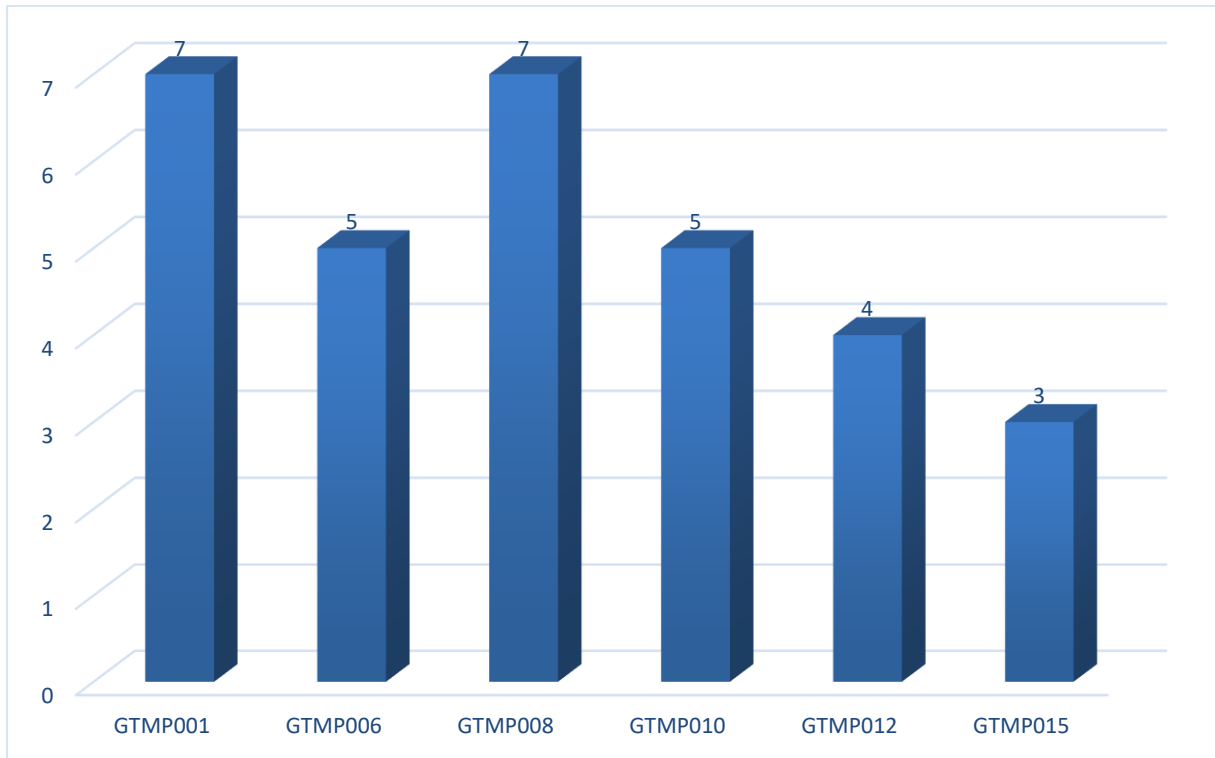


Figure 16 : Histogramme des coefficients d'aplatissement des échantillons prélevés dans le cadre de cette étude.

k) Coefficient de friabilité

Les coefficients de friabilité des sables ont été étudiés sur la fraction 0/31,5 mm pour tous les échantillons. Les résultats de cet essai sont présentés sur la Figure 17. Le coefficient de friabilité des échantillons est compris entre 14 (GTMP006) et 44 (GTMP008). L'échantillon GTMP001 a un coefficient de friabilité de 22 et celui de GTMP012 est de 29, tandis que ceux de GTMP015 et GTMP010 sont respectivement de 31 et 41.

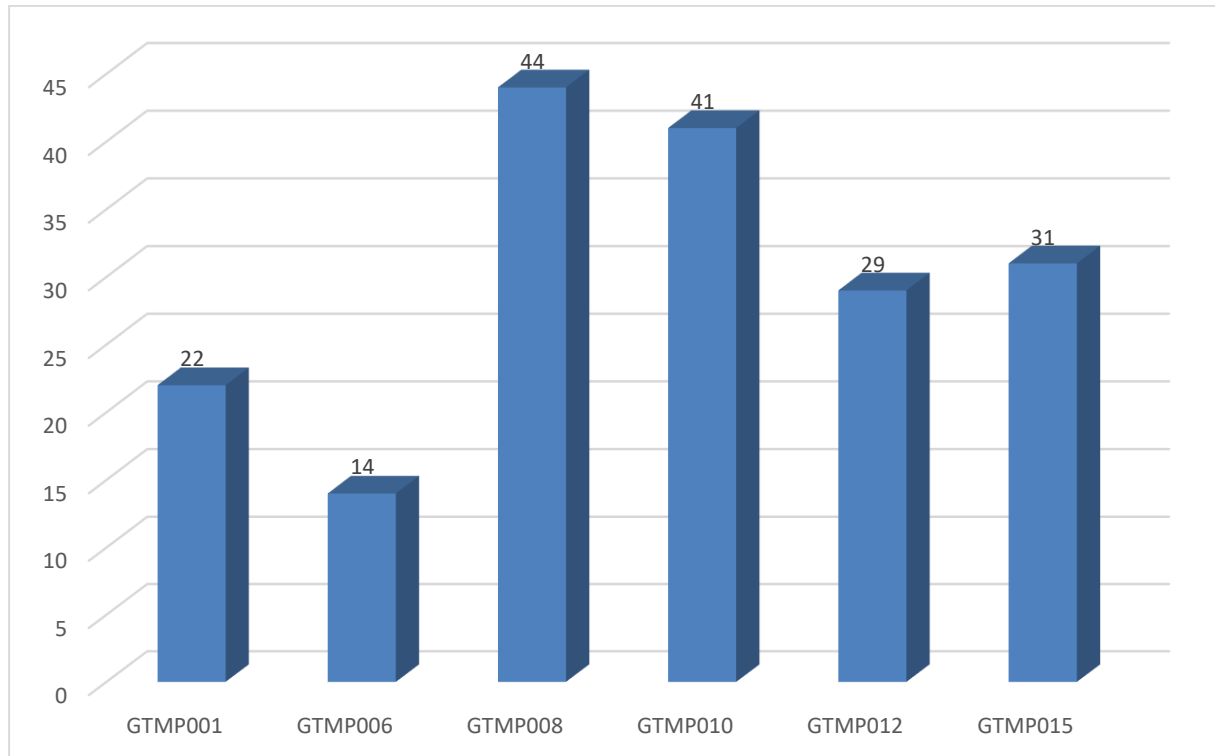


Figure 17 : Histogramme des coefficients de friabilité des sables des échantillons.

I) Résistance à la fragmentation (Los Angeles) et résistance à l'usure Micro-Deval

La résistance à la fragmentation et la résistance à l'usure des échantillons ont été étudiés et les résultats sont présentés dans la Figure 18 et la Figure 19.

Trois groupes distincts apparaissent sur la Figure 18. Le premier groupe composé de GTMP001 et de GTMP015 est situé entre 5 à 20 MDE et 5 à 16 LA. Le second groupe constitué des échantillons GTMP006, GTMP012 et GTMP008 est compris entre 20 et 23 MDE ainsi qu'entre 17 et 23 LA. Le troisième groupe est formé d'un seul échantillon, GTMP010, dont la valeur MDE est de 40 et celle du LA est de 35.

L'historgramme des résistances à la fragmentation et à l'usure des échantillons (Figure 19) met en évidence deux types de comportement. Les échantillons GTMP001, GTMP006 et GTMP010 montre une valeur de Los Angeles inférieure à la valeur de l'essais Micro-Deval. Les échantillons GTMP008, GTMP012 et GTMP015 indiquent quant à eux un Micro-Deval inférieur au Los Angeles.

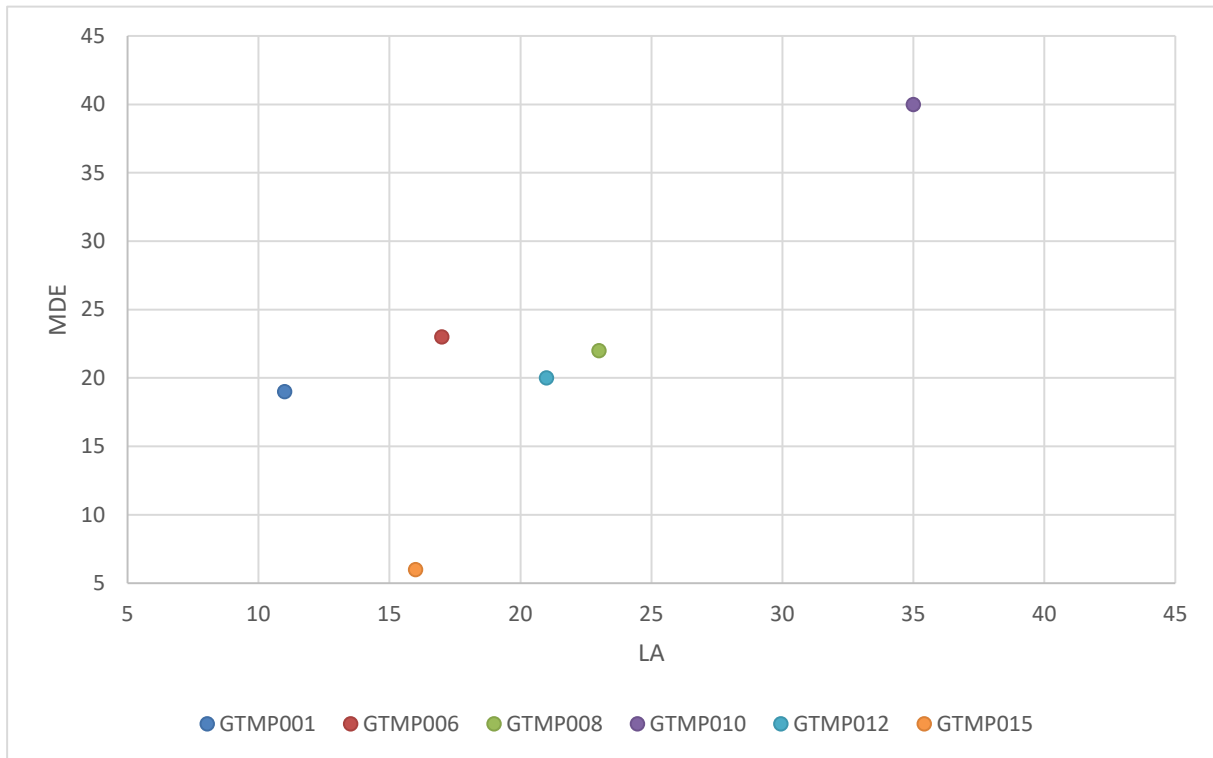


Figure 18 : Caractéristiques intrinsèques des échantillons en fonctions de leurs résistances (sur la fraction 10/14 mm).

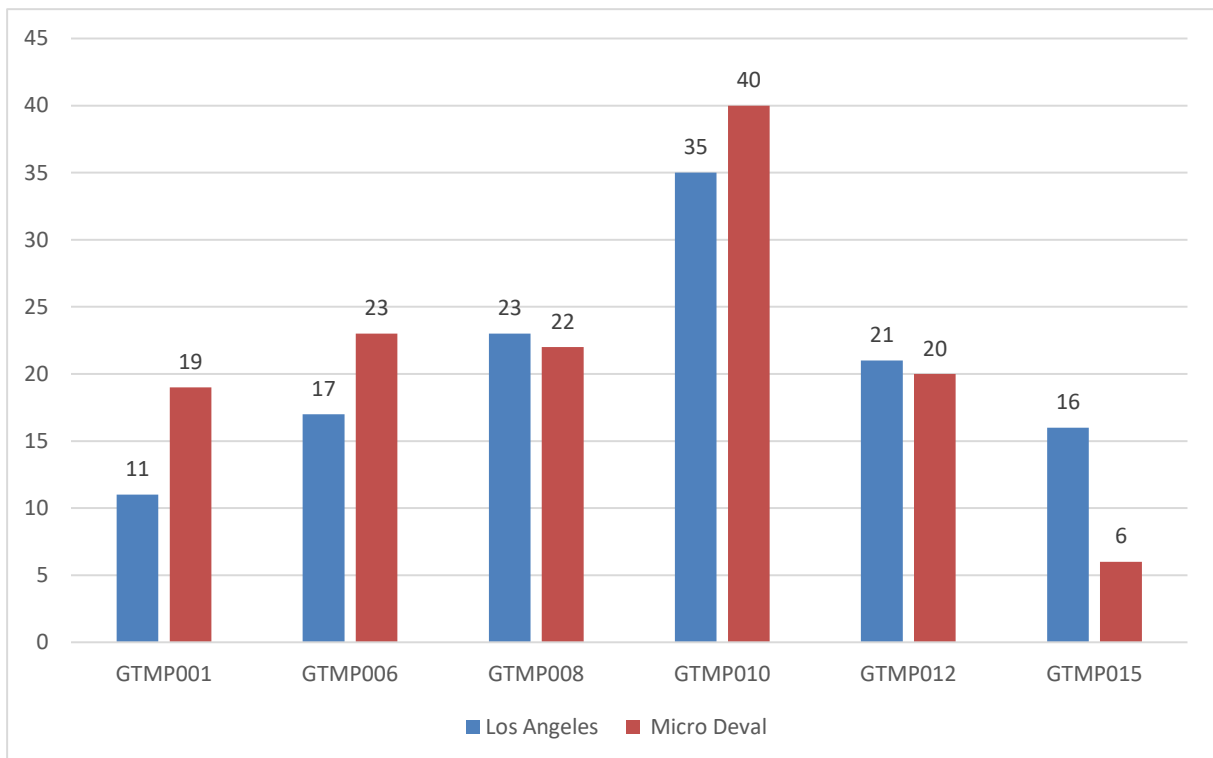


Figure 19 : Histogramme des résistances à la fragmentation et à l'usure des échantillons (fraction 10/14 mm).

m) Résistance au gel / dégel

L'essai de résistance au gel / dégel a été effectué sur le pourcentage de perte de masse sur la fraction 4/8 mm. La résistance au gel / dégel des échantillons est comprise entre 0,1 (GTMP015) et 1 % (GTMP001). L'échantillon GTMP006 montre un résultat de 0,3 %, GTMP008 de 0,5 % et enfin les échantillons GTMP010 et GTMP012 ont tous deux une valeur de résistance au gel / dégel de 0,8 %.

Il est important de préciser que la norme demande d'évaluer ce paramètre bien que le climat de la Guyane ne permette pas la survenue de ce phénomène.

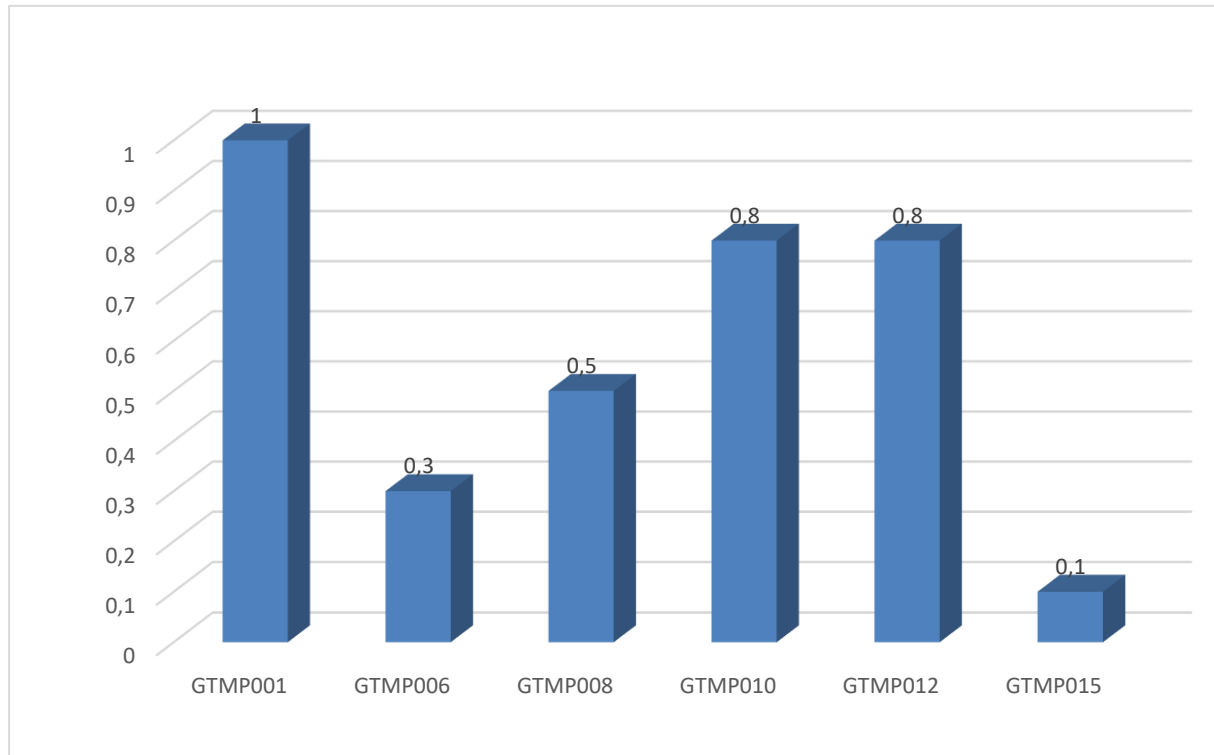


Figure 20 : Résistance (en %) au gel / dégel des échantillons prélevés dans le cadre de cette étude.

n) Coefficient de polissage accéléré (PSV)

Le concassage des matériaux à la fraction 6/10 pour la réalisation des essais a produit des fragments en forme de feuillets, lesquels ne permettent pas la réalisation du test de coefficient de polissage accéléré CPA (PSV) pour les échantillons GTMP001, GTMP006, GTMP008 et GTMP010. Seuls les échantillons GTMP012 et GTMP015 ont pu être analysés sur cet essai. Le PSV de GTMP012 est de 64 alors que celui de GTMP015 est de 62.

Contrairement aux préconisations de la norme, ces essais ont pu être réalisés uniquement sur deux plaquettes à cause de la difficulté de préparation des échantillons rencontrée par le laboratoire. Par conséquent, ces résultats ne répondent pas aux exigences « Laboroute » et sont fournis à titre purement indicatif.

4.2.3. Interprétation des résultats

Il est important de rappeler que les fuseaux de fabrication sont définis par le producteur sur au moins 15 analyses et en se basant sur les normes en vigueur selon le domaine d'application. Dans ce rapport, il ne s'agit pas de la création de fiches techniques produits (FTP). Le lecteur tiendra compte qu'une seule analyse a été effectuée par lithologie pour construire les courbes granulométriques et permettre ici une première réflexion sur la possibilité d'utilisation de ces matériaux pour les applications de chaussée : de fondation, de base, de liaison, de couches de roulement et de bétons de ciment. Ainsi que pour la fabrication de bétons hydrauliques et de mortiers. Des investigations plus approfondies seront à mener dans le cas où des lithologies présenteraient des caractéristiques intéressantes pour le secteur du BTP.

a) Utilisation chaussées : couches de fondation, de base et de liaison

Les interprétations faites dans ce chapitre sont basées sur les normes NF P 18 545 - Article 7, NF EN 13 043 et NF EN 13 242.

- **Caractéristiques intrinsèques : résistance à la fragmentation et à l'usure des échantillons**

Les résultats des essais Los Angeles et Micro-Deval ont été portés dans le graphique Figure 21. D'après la norme, les échantillons GTMP001 et GTMP015 sont de code B (LA_{25} et M_{DE20}). De plus, l'exigence complémentaire sur LA + MDE ($V_{ss} \leq 35$) est assurée pour GTMP001 ($V_{ss} = 30$) et pour GTMP015 ($V_{ss} = 22$).

Les échantillons GTMP006, GTMP008 GTMP012 sont de code C (LA_{30} et M_{DE25}). De plus, l'exigence complémentaire sur LA + MDE ($V_{ss} \leq 45$) est assurée pour GTMP006 ($V_{ss} = 40$), pour GTMP008 ($V_{ss} = 45$) et pour GTMP012 ($V_{ss} = 41$).

L'échantillon GTMP010 est de code E (LA_{45} et M_{DE45}). De plus, l'exigence complémentaire sur LA + MDE ($V_{ss} \leq 80$) est assurée (V_{ss} GTMP010 =75).

De manière générale, plus les coefficients MDE et LA sont faibles, plus les matériaux sont résistants. Le premier groupe de code B est donc plus résistant que le deuxième groupe de code C qui lui-même est plus résistant que l'échantillon GTMP015 (code E).

Le coefficient de polissage accéléré n'ayant pas pu être réalisé sur les échantillons GTMP001, GTMP006, GTMP008 et GTMP010, les codes ne peuvent être précisés sur ce critère.

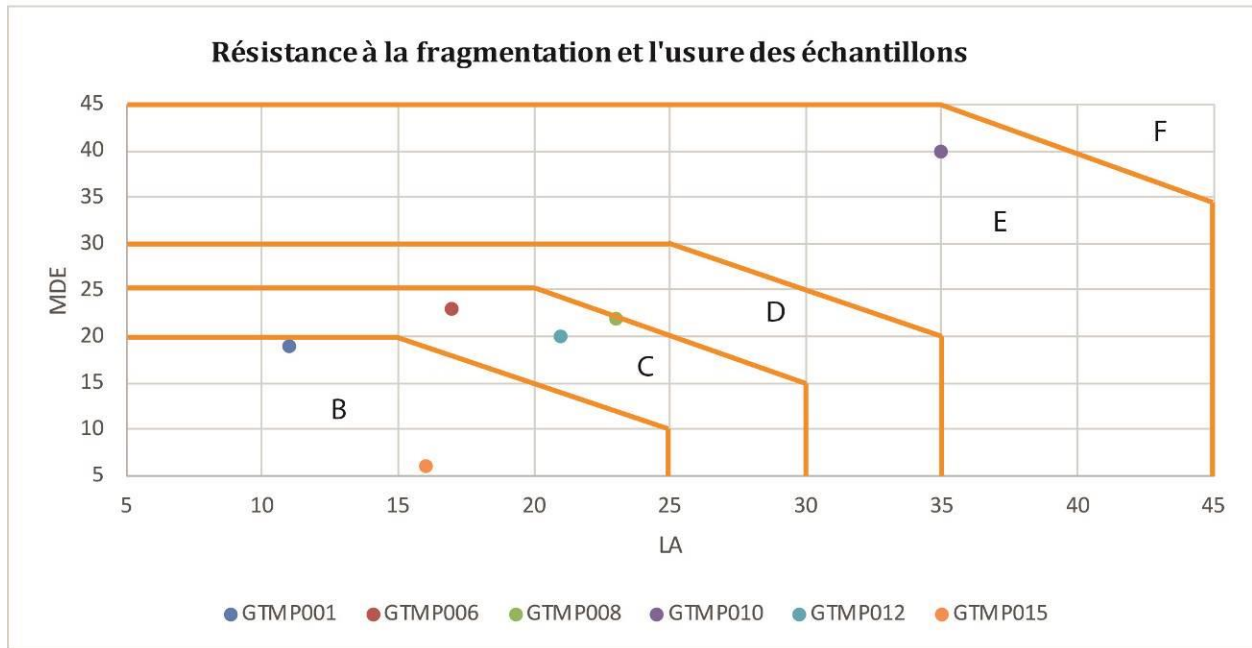


Figure 21 : Diagramme de classification des résultats de résistance à la fragmentation et à l'usure.

- **Caractéristiques de fabrication des gravillons**

Les courbes granulométriques des différents échantillons ont été tracées et reportées sur la Figure 22 où figurent également les limites définies par la norme (NF P 18 545 - Article 7 et 8) pour les caractéristiques de fabrication des gravillons.

En observant les courbes, il apparaît clairement que les matériaux ont une fraction granulométrique réelle de 0/60 mm et non de 0/63 mm.

En considérant qu'il s'agisse d'un 0/60 mm, les fuseaux de fabrication seraient globalement respectés. Cependant, la forme des courbes des échantillons GTMP010 et GTMP015 entre 4 mm et 16 mm serait certainement à corriger en rajoutant des matériaux plus grossiers sur ces fractions.

Tous les échantillons ont un coefficient d'aplatissement compris entre 3 et 7 (Figure 16), ils sont par conséquent de code III ($FI \leq 25$) concernant ce critère. La forme des échantillons GTMP001 et GTMP008 est plus plate que celle de GTMP015.

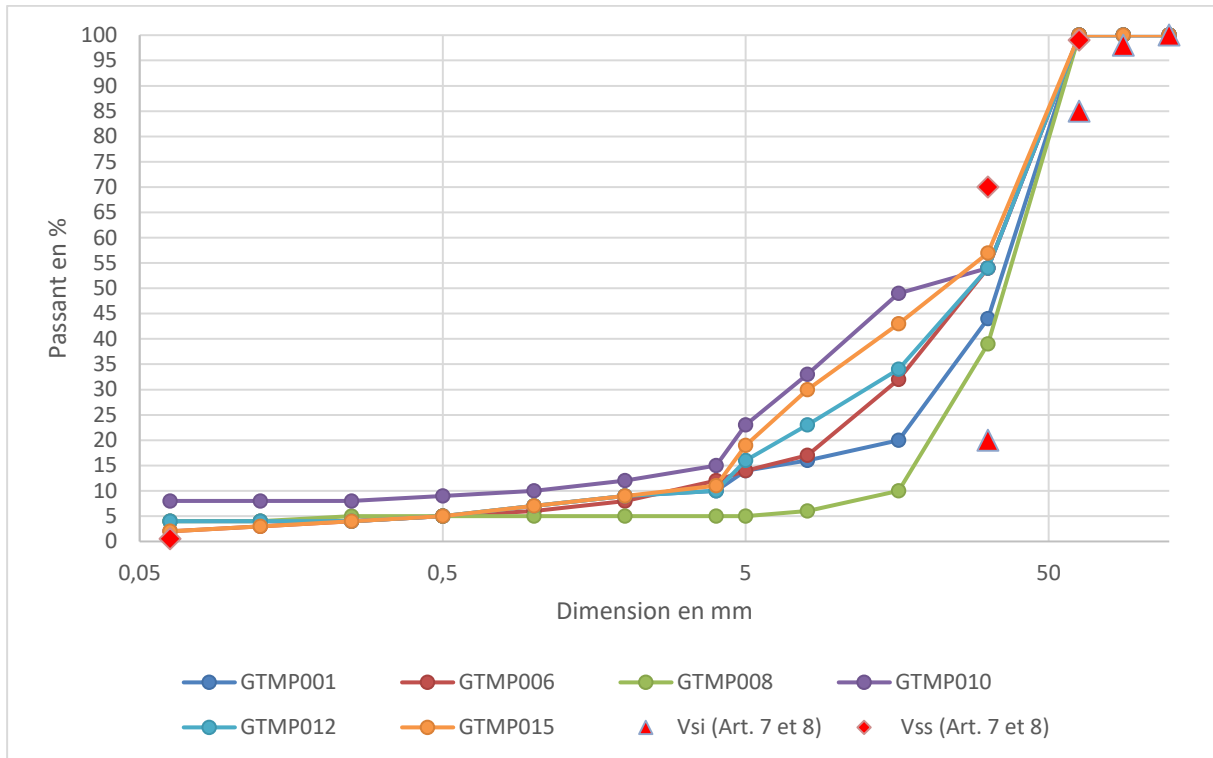


Figure 22 : Courbes granulométriques du 0/63 mm (0/60 mm) en fonction de la norme NF P 18 545 Article 7 pour des gravillons.

- **Caractéristiques de fabrication des sables et graves**

Les courbes granulométriques des différents échantillons ont été tracées dans le graphique Figure 23 où figurent également les limites définies par la norme (NF P 18 545 - Article 7 et 8) pour les caractéristiques de fabrication des sables et graves de code a ou b.

Au vu des résultats de granulométrie tous les échantillons seraient conformes au fuseau attendu pour ces deux normes, si l'incertitude $u = 2$ sur D est prise en compte.

En intégrant les valeurs d'équivalent de sable (supérieures à 55) (Figure 9) et de valeur au bleu (inférieures à 2) (Figure 10) tous les échantillons sont classés en code a.

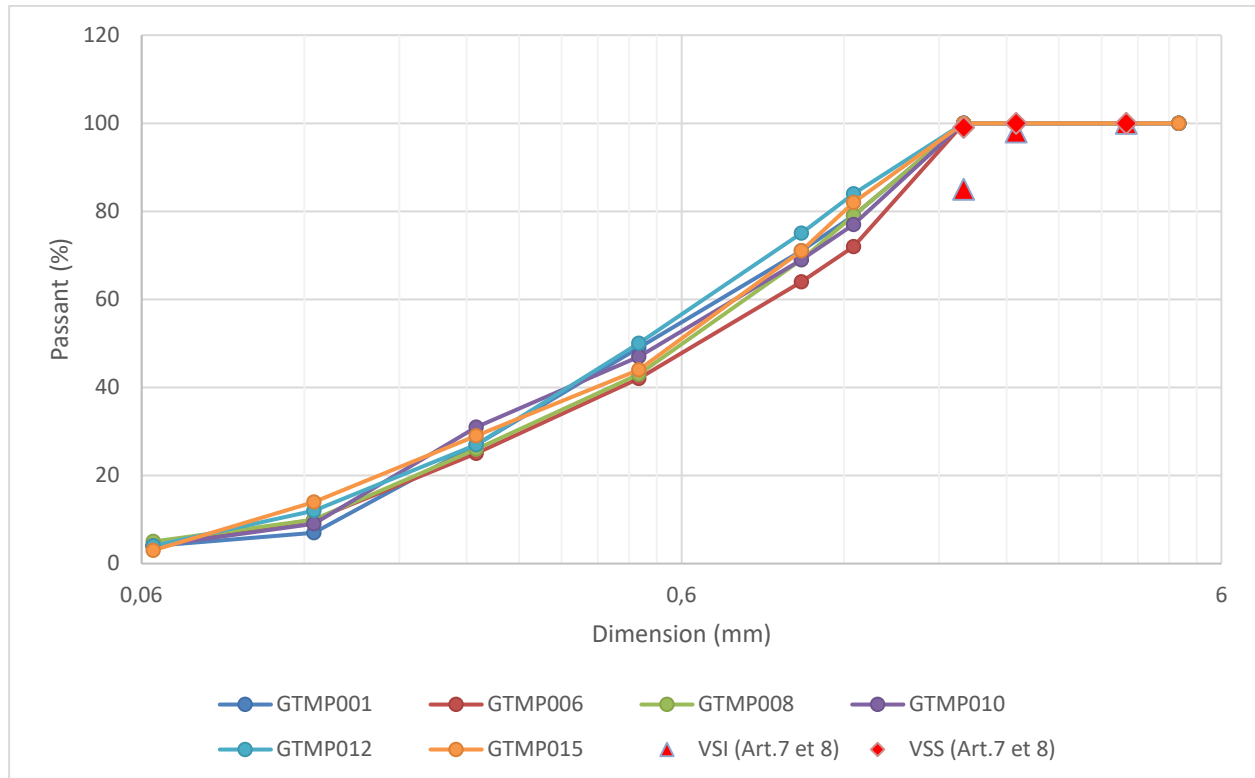


Figure 23 : Courbes granulométriques du 0/2 mm des échantillons de roches dures de 2019 par rapport à la norme NF P 18 545 - Article 7 et 8.

- **La résistance au gel / dégel**

Les échantillons ont une résistance au gel dégel comprise entre 0,1 et 1 % et donc bien inférieure à la limite de la norme ($F \leq 2$) (Figure 20).

- **Spécification d'usage pour les graves non traitées (GNT)**

Le Tableau 8 présente les spécifications d'usage des graves non-traitées pour les couches de fondation, de base et de liaison. Dans ce tableau, la classe de trafic et le code sont indiqués uniquement à titre indicatif par rapport aux résultats du coefficient d'aplatissement (FI). En effet, le taux de fines doit être corrigé pour tous les échantillons afin de justifier cette classification.

Les résultats indiquent que les lithologies GTMP001 et GTMP015 ne peuvent pas être utilisées en graves non-traitées pour les couches de fondation, de base et de liaisons. Les échantillons GTMP006, GTMP008 et GTMP012 sont les plus adaptés à une utilisation pour des fondations de trafics importants (150 à 300 poids lourds par jour) et GTMP010 à de faible trafic (10 à 50 poids lourds par jour maximum).

De même, les échantillons GTMP006, GTMP008 et GTMP012 sont les plus adaptés à une utilisation pour des bases de trafics allant jusqu'à 150 poids lourds par jour. GTMP010 peut aussi être utilisé pour de faible trafic (25 poids lourds par jours maximum).

Enfin, GTMP006, GTMP008 et GTMP012 sont les seuls adaptés à une utilisation pour des structures inverse pour des trafics supérieurs à 150 poids lourds par jour.

Ces conclusions sont émises dans l'hypothèse où le taux de fine a bien été corrigé pour chaque lithologie

Usage	Caractéristiques	Echantillons	Classe de trafic	Code
Fondation	Caractéristiques intrinsèques des gravillons	GTMP010	T5 – T4	E
		GTMP006	T2 – T1	C
		GTMP008		
		GTMP012		
	Caractéristiques de fabrication des gravillons	Tous à condition de corriger le taux de fines	T3 – T2 – T1*	III*
Caractéristiques de fabrication sable	Aucun			
Base	Caractéristiques intrinsèques des gravillons	GTMP010	T5	E
		GTMP006	T3	C
		GTMP008		
		GTMP012		
	Caractéristiques de fabrication des gravillons	Tous à condition de corriger le taux de fines	T3*	III*
Caractéristiques de fabrication sable	Aucun			
Structures Inverse	Caractéristiques intrinsèques des gravillons	GTMP006	T0-T3	C
		GTMP008		
		GTMP012		
	Caractéristiques de fabrication des gravillons	Tous à condition de corriger le taux de fines	T0-T3	III*
Caractéristiques de fabrication sable	Aucun			

Tableau 8 : Classement des échantillons de Maripasoula 2019 par rapport aux spécifications d'usage des graves non traitées.

- **Spécification d'usage pour les graves traitées aux liants hydrauliques (GTLH)**

Le Tableau 9 présente les spécifications d'usage des graves traitées aux liants hydrauliques pour les couches de fondation, de base et de liaison. Les classes de trafic et le code sont indiqués ici uniquement à titre indicatif par rapport aux résultats du coefficient d'aplatissement (FI). En effet, le taux de fines doit être corrigé pour tous les échantillons afin de justifier cette classification. Ces résultats indiquent que seul GTMP010 et peut être utilisé en grave traité aux liants pour les couches de fondation et de base pour un trafic inférieur à 150 poids lourds par jour (jusqu'à 300 PL / j en fondations).

Il est important de rappeler que ces conclusions sont émises dans l'hypothèse où le taux de fine a bien été corrigé pour chaque lithologie.

Usage	Caractéristiques	Échantillons	Classe de trafic	Code
Liaison	Caractéristiques intrinsèques des gravillons	GTMP006	T2 - T1 - $\geq T0$	C
		GTMP008		
		GTMP012		
BBSG, BBME	Caractéristiques de fabrication des gravillons	Tous à condition de corriger le taux de fines	$< T3 - T2 - T1 - \geq T0^*$	III*
	Caractéristiques de fabrication sable	Tous	$< T3 - T2 - T1 - \geq T0$	a
Liaison	Caractéristiques intrinsèques des gravillons	GTMP006	$< T3 - T2 - T1 - \geq T0$	C
		GTMP008		
		GTMP012		
BBM	Caractéristiques de fabrication des gravillons	Tous à condition de corriger le taux de fines	$< T3 - T2 - T1 - \geq T0^*$	III*
	Caractéristiques de fabrication sable	Tous	$< T3 - T2 - T1 - \geq T0$	a
Base, Fondation GB, EME	Caractéristiques intrinsèques des gravillons	GTMP006	$\geq T0$	C
		GTMP008		
		GTMP012		
	Caractéristiques de fabrication des gravillons	Tous à condition de corriger le taux de fines	$< T3 - T2 - T1 - \geq T0^*$	III*
	Caractéristiques de fabrication sable	Tous	$< T3 - T2 - T1 - \geq T0$	a

Tableau 9 : Classement des échantillons de Maripasoula 2019 par rapport aux spécifications d'usage pour les enrobés bitumineux.

b) Utilisation chaussées couches de roulement

Les interprétations faites dans ce chapitre sont basées sur les normes NF P18-545 - Article 8 et NF EN 13 043.

- **Caractéristiques intrinsèques : Résistance à la fragmentation et à l'usure des échantillons**

Les résultats des essais Los Angeles et Micro-Deval sont reportés dans le graphique de la Figure 24.

D'après la norme, les codes sont attribués seulement si LA + MDE, LA, MDE et PSV sont respectés simultanément. Malheureusement, le coefficient de polissage accéléré n'a pas pu être déterminé pour les échantillons GTMP001, GTMP006, GTMP008 et GTMP010.

Les PSV de GTMP012 et de GTMP015 sont supérieur à 56. En considérant les valeurs de LA, MDE et PSV l'échantillon GTMP015 est attribué à un code A alors que GTM012 est classé en code C.

Les essais de PSV ont pu être réalisés uniquement sur deux plaquettes dû au fait de la difficulté de la préparation des échantillons rencontrée par le laboratoire. Par conséquent, ces résultats ne répondent pas aux exigences « Laboroute » et sont donc fournis « à titre indicatif ».

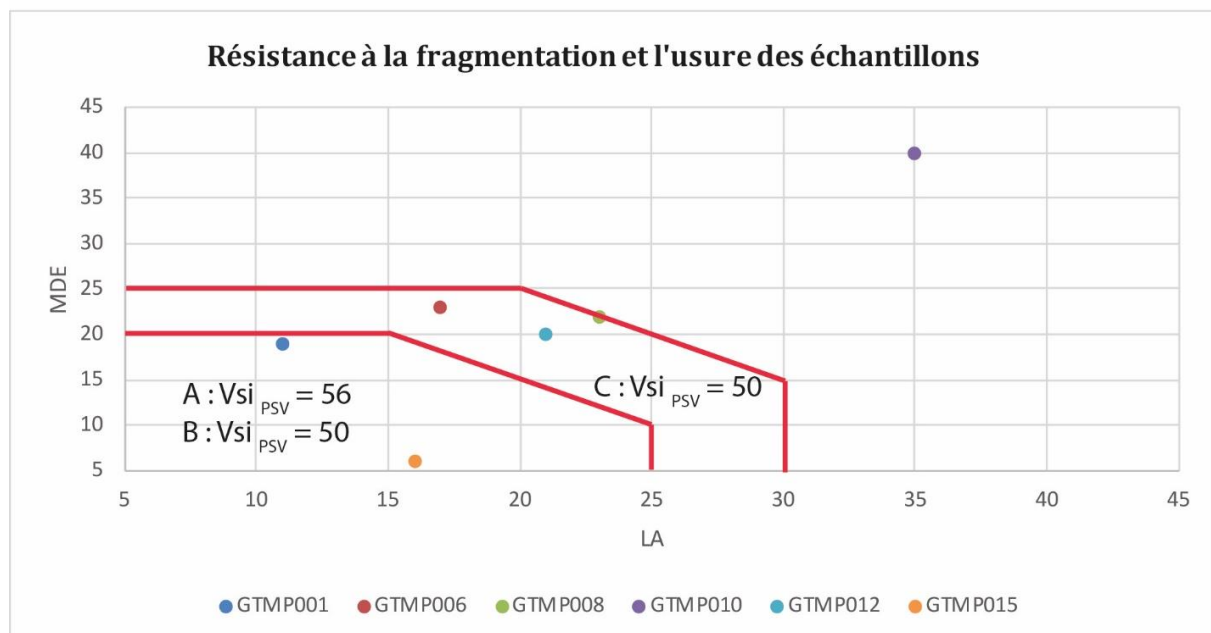


Figure 24 : Caractéristiques intrinsèques des échantillons par rapport aux limites fixées dans la norme NF P 18 545 - Article 8.

- **Caractéristiques de fabrication des gravillons**

La norme NF P 18 545 - Article 8 précise que les gravillons tels que $D/d \geq 4$ mm ne sont pas admis.

- **Caractéristiques de fabrication des sables et graves**

Les courbes granulométriques des différents échantillons sont présentées sur la Figure 25 où figurent également les limites définies par la norme NF P 18 545 (Article 7 et 8) pour les caractéristiques de fabrication des sables et graves de code a.

Au vu des résultats de granulométrie tous les échantillons seraient conformes au fuseau attendu pour ces deux normes, si l'incertitude $u = 2$ sur D est prise en compte.

En intégrant les valeurs d'équivalent de sable (supérieures à 55) (Figure 9) et de valeur au bleu (inférieures à 2) (Figure 10) tous les échantillons sont classés en code a.

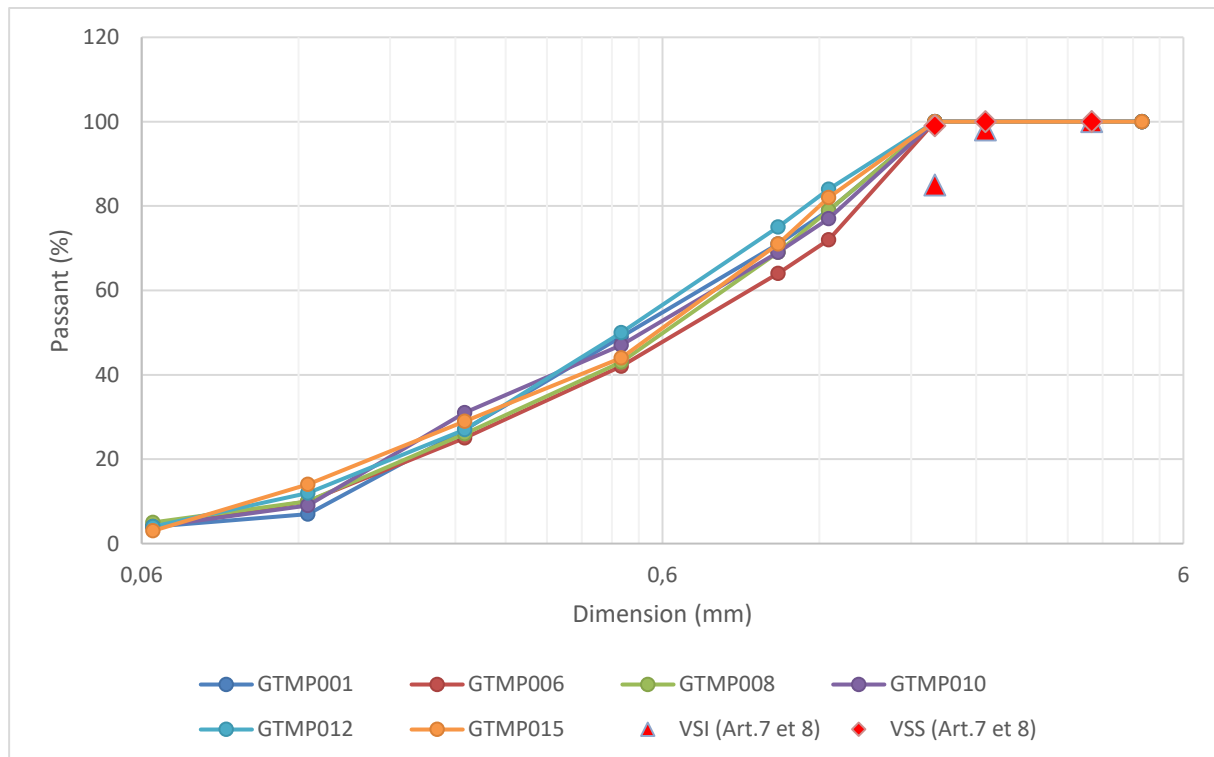


Figure 25 : Courbes granulométriques du 0/2 mm des échantillons de roches dures de 2019 par rapport à la norme NF P 18 545 - Article 7 et 8.

- **Résistance au gel/dégel**

Les échantillons ont une résistance au gel/dégel comprise entre 0,1 et 1 % et donc bien inférieur à la limite de la norme ($F \leq 2$) (Figure 20).

- **Spécification pour couches de roulement**

En l'absence de données sur le coefficient de polissage accéléré CPA (PSV) les spécifications d'usages pour les bétons bitumineux, les enrobés coulés à froid (ECF) et les enduits superficiels d'usure (ESU) ne peuvent être déterminés pour les échantillons GTMP001, GTMP006, GTMP008 et GTMP010.

Pour les échantillons GTMP012 et GTMP015 les résultats de test de PSV permettent la détermination des spécifications d'usages.

Les Tableau 10 et Tableau 11 présentent le classement des échantillons prélevés dans le cadre de cette étude par rapport aux spécifications pour des couches de roulement.

Les échantillons GTMP012 et GTMP015 sont les seuls adaptés à une utilisation pour des bétons bitumineux : semi-grenu, à module élevé et mince. GTMP012 peut être utilisé pour un trafic inférieur à 150 poids lourds par jour et GTMP015 pour un trafic de 150 à 2 000 poids lourds par jour.

La lithologie GTMP015 peut être employée pour des bétons bitumineux : drainant, très mince et ultra-mince pour un trafic de 150 à 2 000 poids lourds par jour.

L'échantillon GTMP012 se prête à la fabrication de bétons bitumineux pour des chaussées souples à faible trafic pour un trafic inférieur à 150 poids lourds par jour.

Les échantillons GTMP012 et GTMP015 sont les seuls adaptés à une utilisation pour des enrobés coulés à froid. GTMP012 peut être utilisé pour un trafic inférieur à 150 poids lourds par jour et GTMP015 pour un trafic de 150 à 750 poids lourds par jour.

Ces échantillons ne semblent pas adaptés à une utilisation pour des enduits superficiels d'usure (ESU).

Usage	Caractéristiques	Échantillons	Classe de trafic	Code
BBSG, BBME, BBM	Caractéristiques intrinsèques des gravillons	GTMP012	$\leq T3$	C
		GTMP015	$T2 - T1 - \geq T0$	A et B
	Caractéristiques de fabrication des gravillons	NC		
	Caractéristiques de fabrication sable	Tous	$< T3 - T2 - T1 - \geq T0$	a
BBDr, BBTM, BBUM	Caractéristiques intrinsèques des gravillons	GTMP015	$T2 - T1 - \geq T0$	A et B
	Caractéristiques de fabrication des gravillons	NC		
	Caractéristiques de fabrication sable	Tous	$< T3 - T2 - T1 - \geq T0$	a
BBS	Caractéristiques intrinsèques des gravillons	GTMP012	$\leq T3$	C
	Caractéristiques de fabrication des gravillons	NC		
	Caractéristiques de fabrication sable	Tous	$\leq T3$	a

Tableau 10 : Classement des échantillons prélevés dans le cadre de cette étude par rapport aux spécifications d'usage pour les bétons bitumineux.

Usage	Caractéristiques	Échantillons	Classe de trafic	Code
ECF	Caractéristiques intrinsèques des gravillons	GTMP012	$< T3$	C
		GTMP015	$T3 - T2 - \geq T1$	A et B
	Caractéristiques de fabrication des gravillons	NC		
	Caractéristiques de fabrication sable	Tous	$< T3 - T3 - T2 - \geq T1$	a

Tableau 11 : Classement des échantillons de Maripasoula 2019 par rapport aux spécifications d'usage pour les enrobés coulés à froid (ECF).

c) Utilisation chaussées bétons de ciments

Les interprétations faites dans ce chapitre sont basées sur les normes NF P 18 545 - Article 9, NF EN 12 620.

- **Caractéristiques intrinsèques : Résistance à la fragmentation et à l'usure des échantillons**

Les résultats des essais Los Angeles et Micro-Deval ont été placés dans le graphique Figure 26.

D'après la norme, le code B est attribué uniquement si LA + MDE, LA, MDE et PSV sont respectés simultanément. Malheureusement, le coefficient de polissage accéléré n'a pas pu être déterminé pour l'échantillon GTMP001, mais l'échantillon GTMP015 remplit ces conditions. GTMP015 est donc de code B.

Les échantillons GTMP006, GTMP008 et GTMP012 sont de code C (LA₃₀ et M_{DE25}). De plus, l'exigence complémentaire sur LA + MDE (V_{ss} ≤ 45) est assurée pour GTMP006 (V_{ss} = 40), pour GTMP008 (V_{ss} = 45) et pour GTMP012 (V_{ss} = 41).

L'échantillon GTMP10 n'appartient quant à lui à aucun code de spécification.

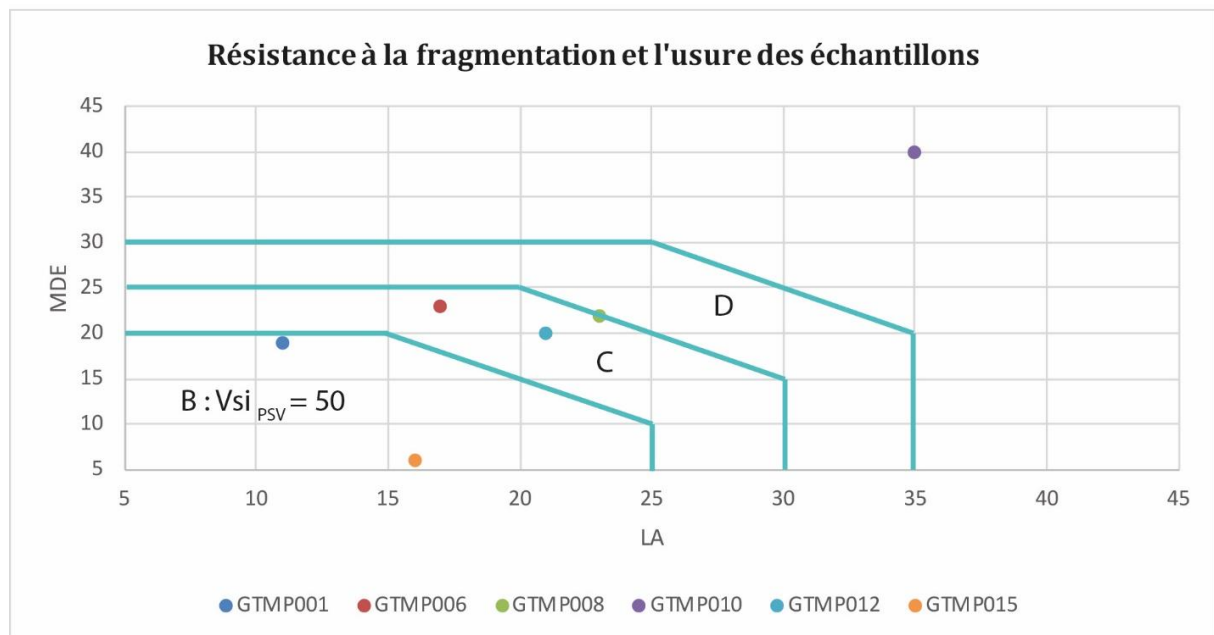


Figure 26 : Caractéristiques intrinsèques des échantillons par rapport aux limites fixées dans la norme NF P 18 545 - Article 9.

- **Caractéristiques de fabrication des gravillons**

Les courbes granulométriques des différents échantillons sont présentées sur la Figure 27 où figurent également les limites définies par la norme NF P 18 545 (Article 9) pour les caractéristiques de fabrication des gravillons.

En observant les courbes, il apparaît clairement que les matériaux ont une fraction granulométrique réelle de 0/60 mm et non de 0/63 mm.

En considérant qu'il s'agisse d'une granulométrie de 0/60 mm, les fuseaux de fabrication seraient globalement respectés.

Cependant, le taux de fines des différents échantillons est trop important. Le passant au tamis de 0,063 mm devrait être inférieur à 1,5 % pour respecter les valeurs définies dans la norme.

De plus, la forme des courbes des échantillons GTMP010 et GTMP015 entre 4 mm et 16 mm serait certainement à corriger en rajoutant des matériaux plus grossiers sur ces fractions.

Le coefficient d'aplatissement correspond quant à lui à la norme, car il est égal au maximum à 7 (Figure 16) ce qui est bien inférieur à 20, ce qui le classe en code III bis pour ce critère.

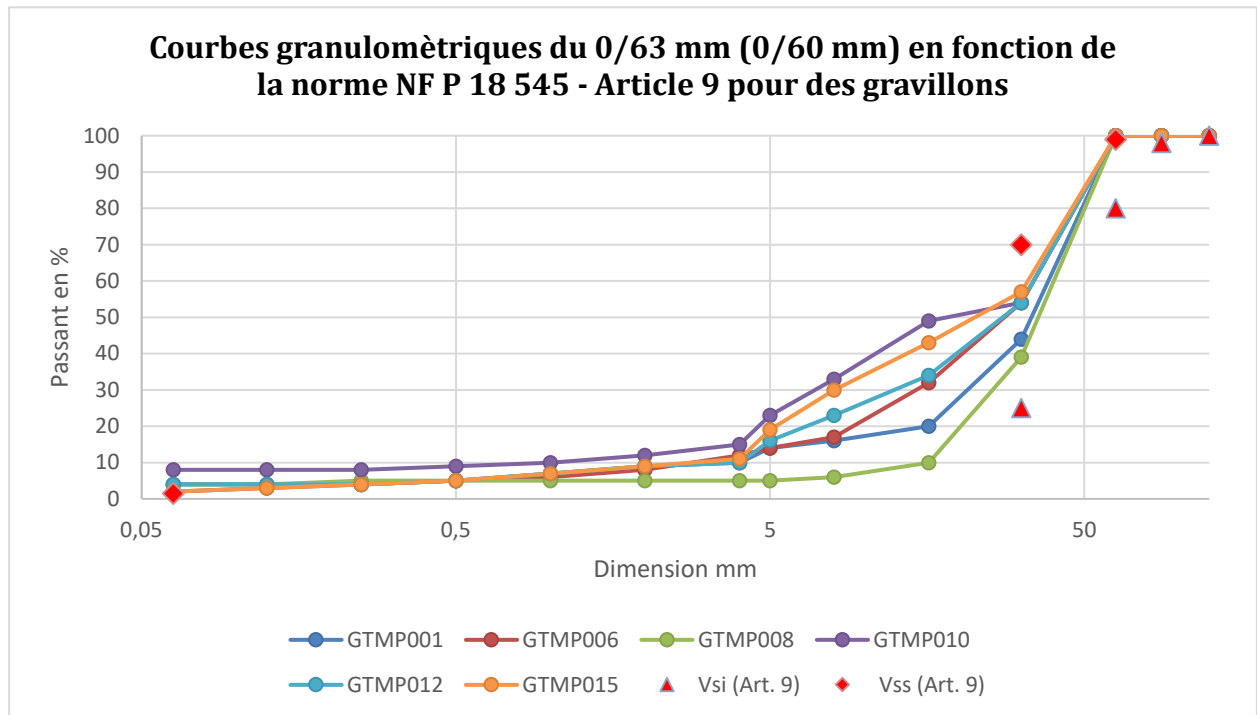


Figure 27 : Courbes granulométriques du 0/63 mm (0/60 mm) en fonction de la norme NF P 18 545 - Article 9 pour des gravillons.

- **Caractéristiques de fabrication des sables et graves**

Les courbes granulométriques des différents échantillons sont présentées sur la Figure 28 où figurent également les limites définies par la norme NF P 18 545 – (Article 9) pour les caractéristiques de fabrication des sables et graves de code a.

Au vu des résultats de granulométrie tous les échantillons seraient conformes au fuseau attendu pour ces deux normes, si l'incertitude $u = 2$ sur D est prise en compte.

La valeur au bleu de tous les échantillons étant inférieure à 1,5 (Figure 10) et leur valeur de SE (10) étant supérieure à 60 à l'exception de GTMP010 (Figure 9), les lithologies GTMP001, GTMP006, GTMP008, GTMP012 et GTMP015 se classent en Code « a bis ».

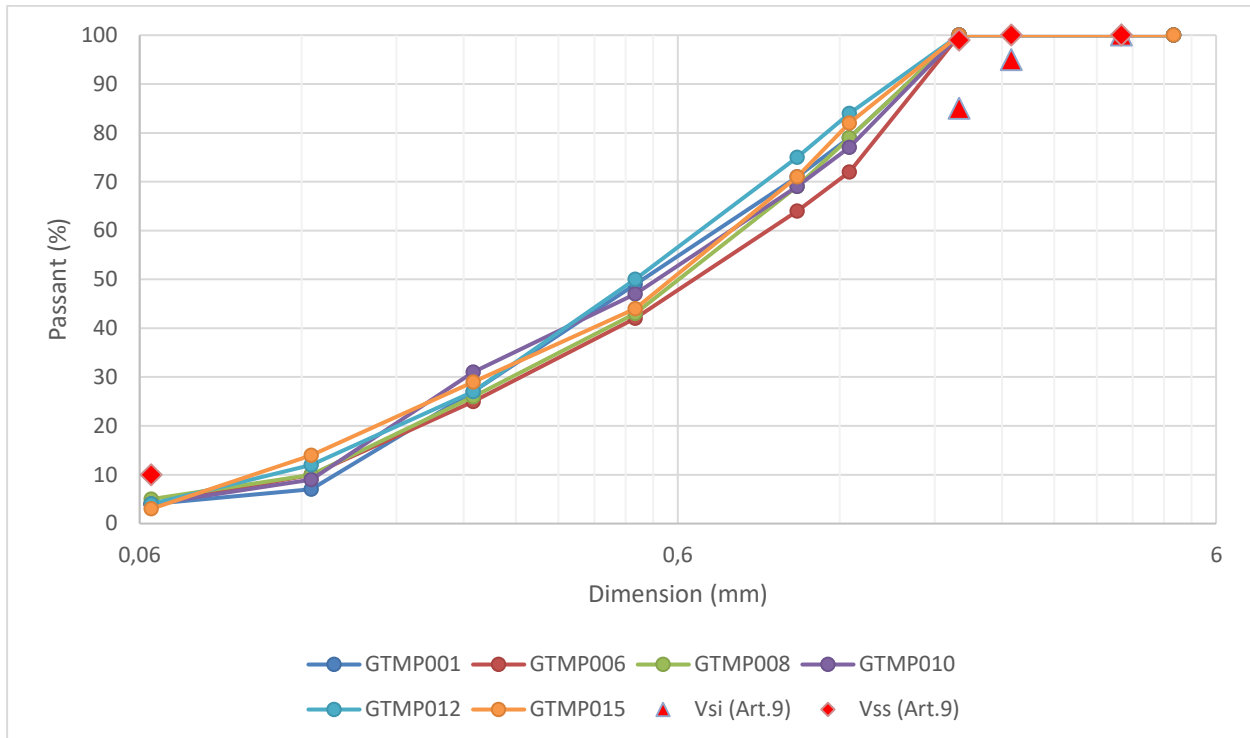


Figure 28 : Courbes granulométriques du 0/2 mm des échantillons de roches dures de 2019 par rapport à la norme NF P 18 545 - Article 9.

- **Résistance gel / dégel**

Les échantillons ont une résistance au gel dégel comprise entre 0,1 et 1 % (Figure 20) et donc bien inférieure à la limite de la norme ($F \leq 2$).

- **Absorption d'eau**

L'absorption d'eau des échantillons étant comprise entre 0,4 et 2,1 % (Figure 11) respecte la limite de 5 % fixée par la norme.

- **Coefficient de friabilité des sables**

Les échantillons GTMP006, GTMP001, GTMP012 et GTMP015 ont des coefficients de friabilité des sables inférieurs à 40 (Figure 17), ce qui les classent dans le code FSa.

Les échantillons GTMP010 et GTMP008 ont des coefficients de friabilité des sables supérieur à 40 (Figure 17), mais inférieur à 60, ce qui les classent dans le code FSb.

- **Chlorures solubles dans l'eau**

Le taux de chlorure soluble dans l'eau est inférieur à 0,001 % pour tous les échantillons.

- **Soufre total**

Tous les échantillons correspondent à un code S_A car ils ont une teneur en soufre total inférieure à 0,4 % (Figure 13).

- **Sulfate soluble dans l'acide**

Le taux de sulfates soluble dans l'acide est limité à 0,2 % dès que le taux de soufre dépasse 0,08 %. Seul l'échantillon GTMP015 a une teneur en soufre supérieur à 0,08 % ($S_{GTMP015} = 0,101$) (Figure 13). Le taux de sulfate soluble dans l'acide de GTMP015 est de 0,034 % ce qui respecte la limite fixée par la norme $AS_{0,2}$ (Figure 12).

- **Impuretés prohibées**

La teneur en impuretés prohibées est inférieure à 0,1 % pour tous des échantillons ce qui respecte la limite de la norme.

- **Spécification d'usage pour les bétons de ciment**

Le Tableau 12 présente les spécifications d'usage pour bétons de ciment pour les chaussées. Dans ce tableau, la classe de trafic et le code sont indiqués à titre indicatif par rapport aux résultats du coefficient d'aplatissement (FI) (Figure 16). En effet, le taux de fines doit être corrigé pour tous les échantillons afin de justifier cette classification.

Aucun des échantillons ne répond aux exigences sur les caractéristiques intrinsèques des gravillons, à savoir un rapport MDE/LA de code D. De ce fait, aucun de ces échantillons ne peut être utilisé dans la fabrication des bétons de ciment pour des fondations.

Les échantillons de la fraction 0/2 mm de GTMP006, GTMP008 et GTMP012 sont adaptés à une utilisation pour des bétons de ciments pour des couches de roulements à des trafics inférieurs à 150 poids lourds par jour. En effet, ces échantillons répondent à la fois aux critères caractéristiques intrinsèques de code C et aux fuseau granulométrique de code a bis.

L'échantillon de la fraction 0/2 mm de GTMP015 (code B et code a bis), peut être utilisé pour des bétons de ciments pour des couches de roulement à des trafics supérieurs à 150 poids lourds par jour.

Ces conclusions s'appliqueraient également aux gravillons de ces lithologies dans l'hypothèse où le taux de fine serait corrigé.

Usage	Caractéristiques	Échantillons	Classe de trafic	Code
Fondation	Caractéristiques intrinsèques des gravillons	Aucun		
	Caractéristiques de fabrication des gravillons	Aucun		
	Caractéristiques de fabrication sable	GTMP001	≤ T3 - >T3	Code a bis
		GTMP006		
		GTMP008		
		GTMP012		
GTMP015				
Roulement	Caractéristiques intrinsèques des gravillons	GTMP006	≤ T3	C
		GTMP008		
		GTMP012		
		GTMP015	> T3	B
	Caractéristiques de fabrication des gravillons	Tous à condition de corriger le taux de fines	≤ T3 - >T3	III bis*
	Caractéristiques de fabrication sable	GTMP001	≤ T3 - >T3	Code a bis
		GTMP006		
		GTMP008		
GTMP012				
GTMP015				

Tableau 12 : Classement des échantillons prélevés dans le cadre de cette étude par rapport aux spécifications d'usage pour les chaussées bétons de ciment.

d) Utilisation pour la fabrication des bétons hydrauliques et mortiers

Les caractéristiques des granulats à destination de la fabrication de bétons hydrauliques et mortiers sont définies par les normes NF P 18 545 – Article 10 et les norme NF EN 12 620, NF EN 13 139. L’interprétation des résultats faite ci-dessous est menée en se basant sur ces référentiels.

Les courbes granulométriques des différents échantillons sont présentées sur la Figure 29 où figure également les limites définies par la norme (NF P 18 545 - Article 10) pour les caractéristiques de fabrication des gravillons.

En observant les courbes, il apparait clairement que les matériaux ont une fraction granulométrique réelle de 0/60 mm et non de 0/63 mm.

En considérant qu’il s’agisse d’une granulométrie de 0/60 mm, les fuseaux de fabrication seraient globalement respectés.

Cependant, le taux de fines des différents échantillons est trop important. Le passant au tamis de 0,063 mm devrait être inférieur à 1,5 % pour respecter les valeurs définies dans la norme.

De plus, la forme des courbes des échantillons GTMP010 et GTMP015 entre 4 mm et 16 mm serait certainement à corriger en rajoutant des matériaux plus grossiers sur ces fractions.

Tous les échantillons ont un coefficient d’aplatissement compris entre 3 et 7 ; ils sont par conséquent de code A ($FI \leq 20$).

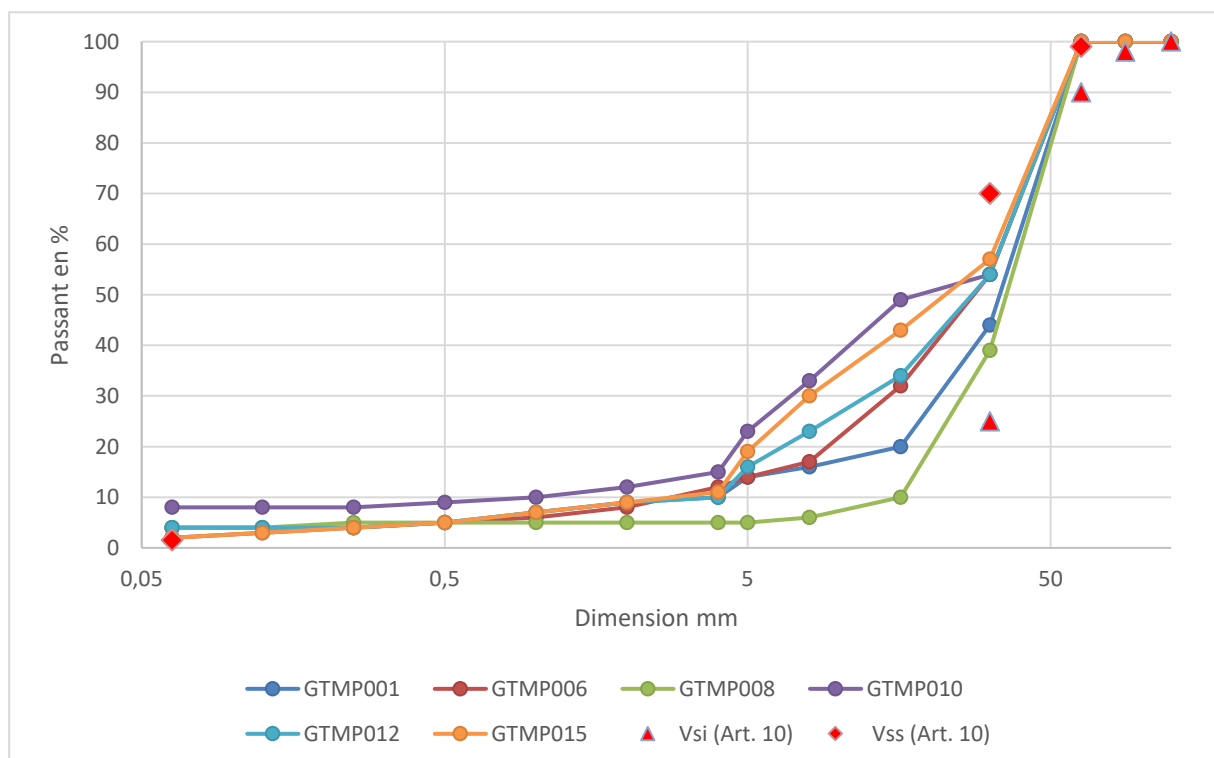


Figure 29 : Courbes granulométriques du 0/63 mm (0/60 mm) en fonction de la norme NF P 18 545 - Article 10 pour des gravillons.

- **Caractéristiques de fabrication des sables et graves**

- Sables de granulométrie 0/2 mm

Les courbes granulométriques des différents échantillons de roches dures réduites à la fraction 0/2 mm ont été tracées dans les graphiques Figure 30 et Figure 31 où figurent également les limites définies par la norme (NF P 18 545 - Article 10) pour les caractéristiques de fabrication du sable.

Dans ce rapport, la valeur spécifique supérieure la plus restrictive du fuseau de régularité ($V_{ss} = 3$) a été prise en compte pour les mortiers au tamis de 0,063 mm. Si les autres valeurs comme la limite supérieure ($L_s = 8$ e 6) ou $V_{ss} = 5$ avaient été choisies alors les échantillons seraient tous conformes sur ce tamis.

Les échantillons GTMP001, GTMP010 et GTMP012 entrent globalement dans le fuseau de la norme NF P 18 545 Article 10 à l'exception des tamis de 0,063 mm (pour les mortiers) et de 1 mm. En effet, le passant est trop important pour les mortiers sur le tamis de 0,063 mm et trop faible au tamis de 1 mm. Pour les bétons hydrauliques, seul le tamis de 1 mm est hors spécifications. Ces granulométries indiquent des produits trop grossiers sur le tamis de 1 mm pour les bétons hydrauliques et les mortiers et trop fins sur le tamis de 0,063 mm pour les mortiers.

L'échantillon GTMP015 montre une répartition granulométrique plus en accord avec les fuseaux des normes NF EN 12 620 et NF EN 13 139. En effet, le tamis de 1 mm n'est pas conforme car le produit est trop grossier sur cette fraction, mais les autres tamis sont conformes pour les deux applications en prenant en compte les incertitudes.

Les échantillons GTMP006 et GTMP008 sont quant à eux en dehors du fuseau normatif sur les tamis de 0,063 mm, 0,5 mm et 1 mm pour les mortiers et sur les deux derniers tamis cités pour les bétons hydrauliques.

Ces résultats indiquent que la lithologie la plus adaptée pour des applications pour bétons hydrauliques et mortiers serait celle de GTMP015. Une correction de la courbe granulométrique sur le tamis de 1 mm doit toutefois être effectuée pour respecter le fuseau normatif.

Les échantillons GTMP001, GTMP010 et GTMP012 nécessitent une correction de courbe beaucoup plus contraignante que celle de GTMP015 pour les mortiers si la V_{ss} prise en compte est égale à 3. Sinon ces échantillons pourraient être conformes pour les bétons hydrauliques et les mortiers en appliquant une correction sur le tamis de 1 mm.

Quant aux faciès de GTMP006 et GTMP008, les résultats montrent que leur utilisation pour les applications bétons hydrauliques et mortiers demanderait une correction granulométrique sur les tamis de 0,5 mm et de 1 mm où le taux de passant devrait être augmenté. Si la valeur spécifique supérieur du fuseau de régularité était considérée comme égale à 3, le passant du tamis de 0,063 mm serait également à corriger.

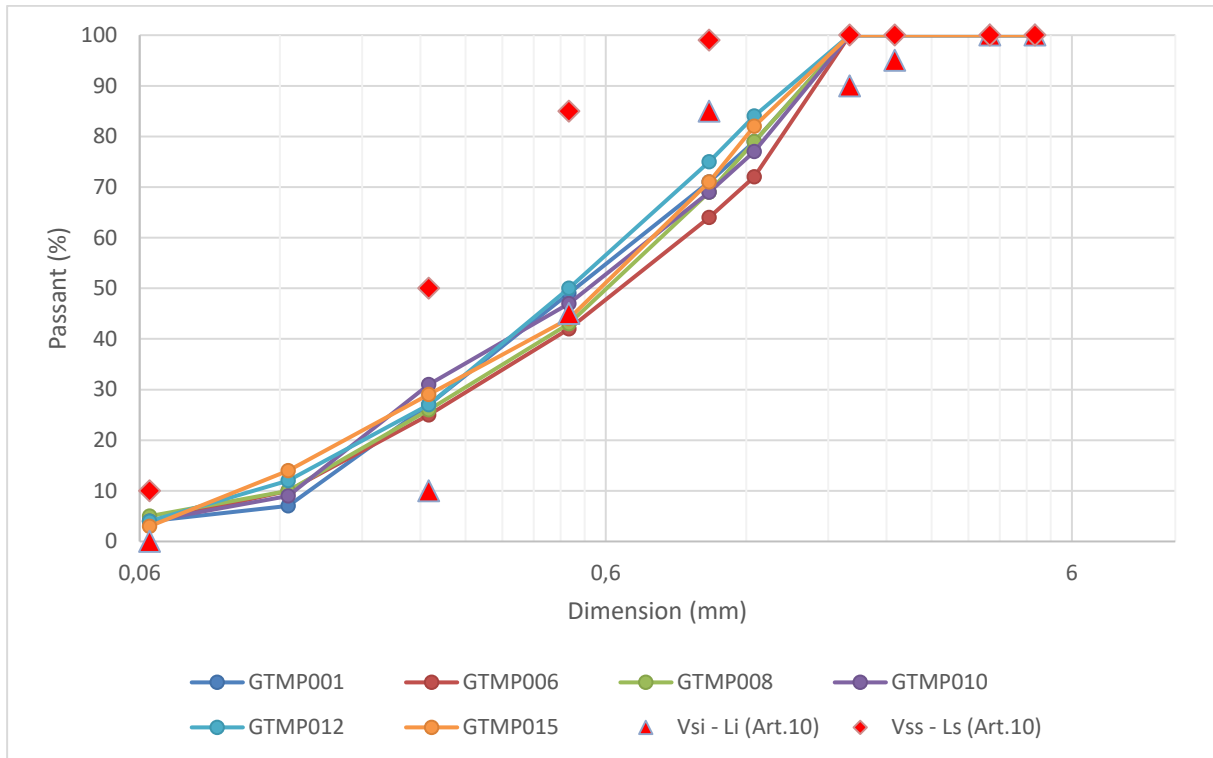


Figure 30 : Courbes granulométriques du 0/2 mm des échantillons prélevés dans le cadre de cette étude par rapport à la norme NF P 18 545 - Article 10 - NF EN 12 620.

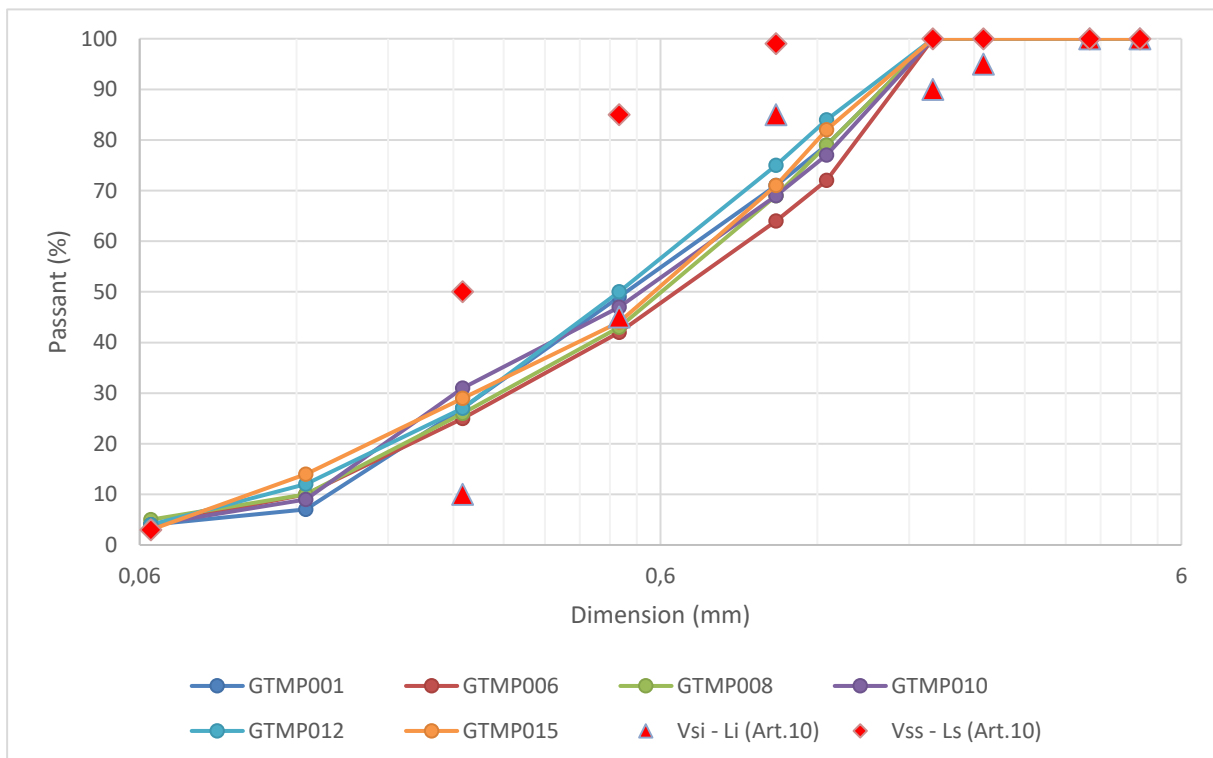


Figure 31 : Courbes granulométriques du 0/2 mm des échantillons de roches dures de 2019 par rapport à la norme NF P 18 545 - Article 10 - NF EN 13 139.

- Calcul du module de finesse (Norme NF EN 12 620)

Pour chacun des échantillons, ce calcul a été fait selon la Norme NF EN 12 620 :

$$FM = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis } \{ 0.125 - 0.25 - 0.50 - 1 - 2 - 4 \}$$

La norme indique des valeurs de module de finesse compris entre 1,5 et 4 pour les sables à bétons et 2,4 et 3,6 pour les sables à mortiers.

Les indices de finesse des échantillons calculés à partir des résultats d'analyses exprimés en refus cumulés sont tous compris entre 1,5 et 3,6 (Figure 32). Dans ce cas, cela indique que la répartition granulométrique peut être conforme aux normes NF EN 12 620 et NF EN 13 139.

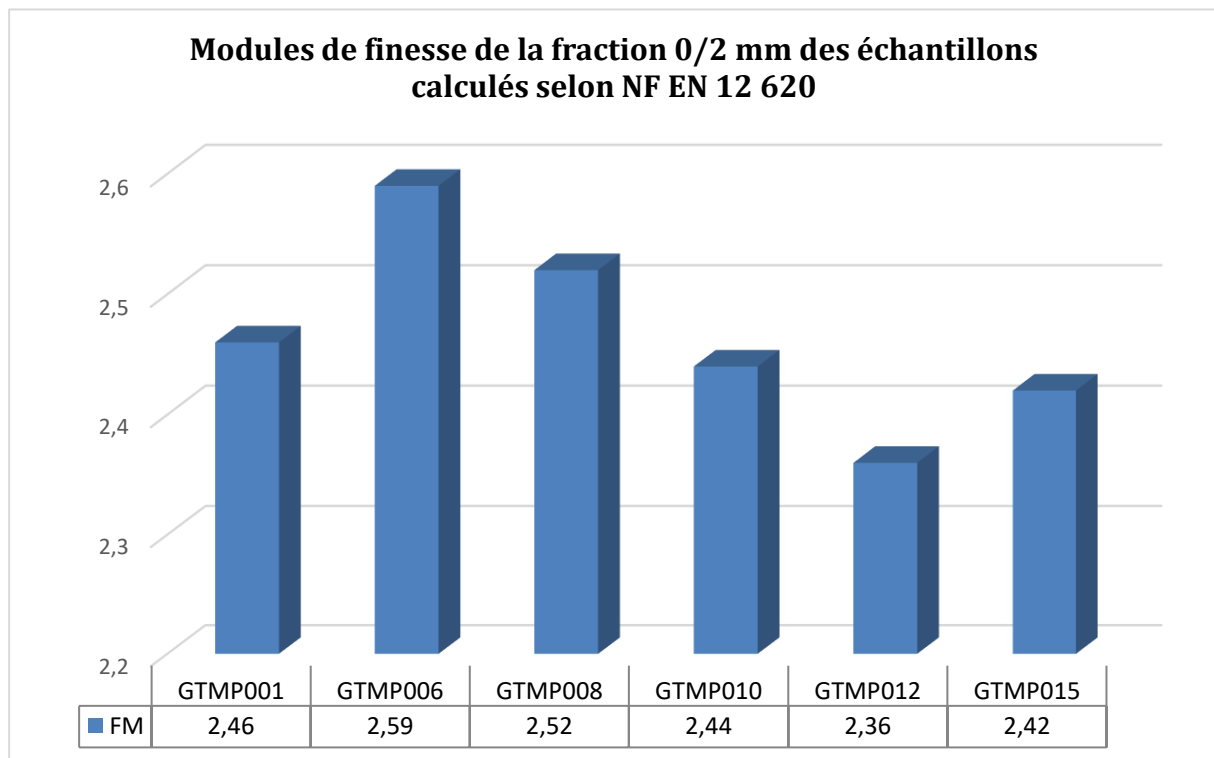


Figure 32 : Modules de finesse de la fraction 0/2 mm des échantillons calculés selon NF EN 12 620

- L'équivalent de sable

L'écoulement du sable n'ayant pas fait l'objet d'analyse en laboratoire du fait des contraintes de taille des échantillons, le V_{si} considéré dans la norme est celui le plus contraignant pour correspondre à un code A soit $V_{si} = 65$.

Le résultat des essais d'équivalent de sable montre trois catégories distinctes de matériaux (Figure 9).

L'échantillon GTMP010, dont le SE est inférieur à 60 ($SE_{GTMP010} = 58$) indique qu'il s'agit d'un matériau argileux de mauvaise qualité pour des bétons (codes B, C ou D) à cause du risque important de retrait et gonflement. De plus, l'échantillon GTMP010 est potentiellement réactif aux alcalins, ce qui en fait un matériau à éviter pour l'utilisation dans les bétons.

Les échantillons GTMP008 et GTMP012 ont des SE compris entre 70 et 80 (respectivement 73 et 72) ce qui en fait des matériaux considérés comme « propres » (code A), à faible pourcentage de fines argileuses et convenant à des bétons de bonne qualité.

L'échantillon GTMP008 est potentiellement réactif aux alcalins alors que le GTMP012 est non-réactif. Ce paramètre est à prendre en compte dans la formulation de fabrication des bétons si la lithologie GTMP008 est sélectionnée. En effet, deux critères sur trois correspondrait aux conditions de développement d'une réaction d'alcali réaction pouvant créer des désordres (microfissurations, etc.) dans le béton (Tableau 2).

Les échantillons GTMP001, GTMP006 et GTMP015 ont un SE supérieur à 80 ce qui en fait des matériaux considérés comme « très propres » (code A). Cependant, l'absence presque totale de fine argileuse peut engendrer des défauts de plasticité du béton. Si ces lithologies sont utilisées pour la fabrication de béton, il faudra veiller à maîtriser le dosage de l'eau.

- Valeur au bleu

Les normes NF EN 12 620 et NF EN 13 139 indiquent une limite supérieure de valeur au bleu à 1,5 (si $D > 1$ mm). Tous les échantillons ont une valeur au bleu inférieure à 1,5 avec au maximum une MB à 0,5 (GTMP001), ce qui les rend conformes aux exigences normatives (Figure 10).

- **Autres caractéristiques des sables, graves et des gravillons**

- Absorption d'eau

L'absorption d'eau des échantillons est inférieure à la limite supérieure de la norme NF EN 12 620 et NF EN 13 139 de 2,5 pour tous les échantillons ce qui les classes en code A sur ce paramètre (Figure 11).

- Alkali-réaction

L'alcali réaction est l'un des paramètres les plus important pour le choix des granulats qui rentrent dans la composition du béton. En effet, le potentiel réactif du mélange granulaire est l'un des trois critères déterminant l'amorçage de la réaction. Les deux autres critères sont la teneur en alcalins solubles ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{équivalent}}$) supérieure à un seuil critique et l'humidité supérieure ou égale à 80 % dans le béton.

Les essais à l'autoclave ont montré que les échantillons GTMP001, GTMP012 et GTMP015 sont non-réactifs. Les échantillons GTMP006, GTMP008 et GTMP010 sont quant-à-eux potentiellement réactifs Tableau 7. Le contexte climatique de la Guyane étant favorable à un environnement humide, les échantillons potentiellement réactifs sont à éviter dans la mesure du possible pour l'utilisation dans les bétons.

- Soufre et sulfates solubles dans l'acide

Les granulats utilisés pour des bétons et des mortiers peuvent contenir de faibles quantités de sulfates et de sulfures tant que la teneur en soufre total ne dépasse pas 0,4 % et que la teneur en sulfate est inférieure à 0,2 %. Tous les échantillons analysés dans le cadre de cette étude respectent ces deux conditions (Figure 33).

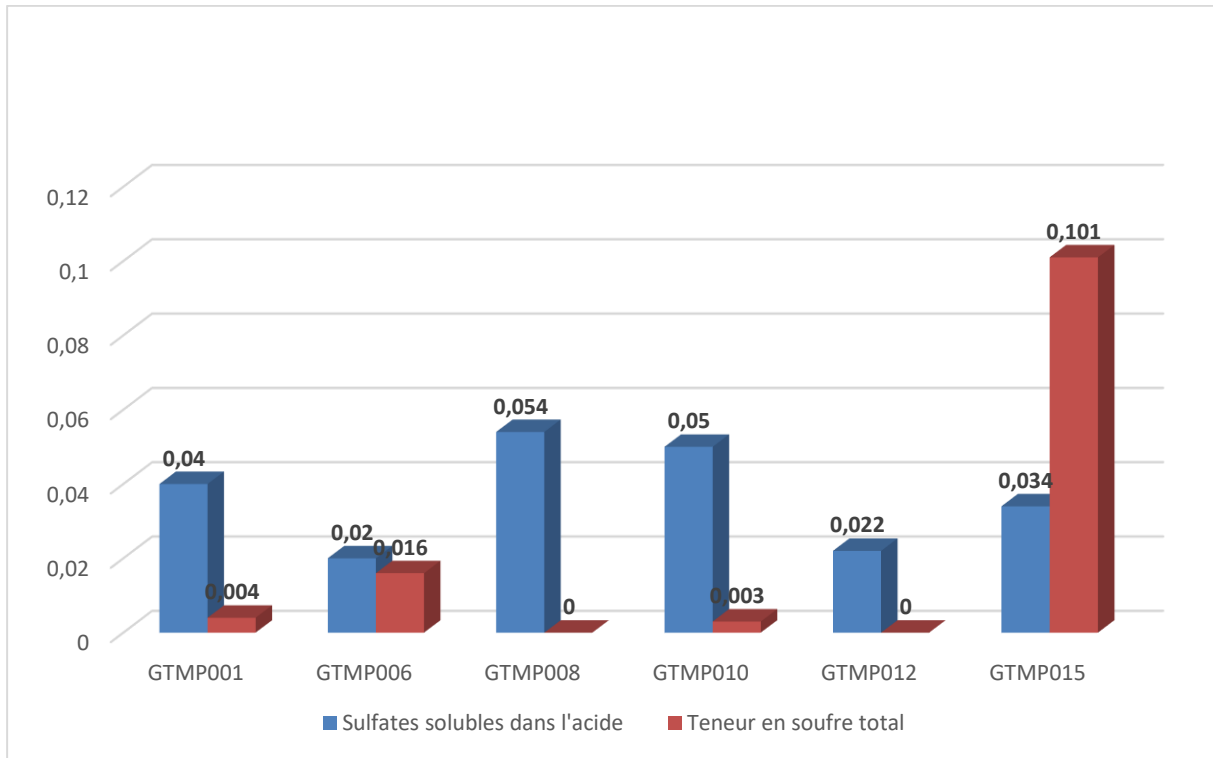


Figure 33 : Histogramme des teneurs en soufre et en sulfates solubles dans l'acide (en %).

La teneur en soufre total de tous les échantillons est inférieure à 0,4 %, ce qui les classe en code A.

Les sulfates solubles dans l'acide sont à évaluer si la teneur en soufre total est supérieure à 0,08 % comme c'est le cas pour l'échantillon GTMP015. La teneur en sulfates solubles dans l'acide pour cet échantillon est bien inférieure à 0,2 %, ce qui le maintient en code A.

Les teneurs en chlorures solubles dans l'eau et en impuretés prohibées sont bien en dessous des valeurs limites indiquées dans l'article 10 de la norme NF P 18 545.

- **Spécification d'usage pour les bétons hydrauliques et mortiers**

Le Tableau 13 présente les spécifications d'usage pour les gravillons pour les bétons hydrauliques et des mortiers.

c	LA*	Gr*	F*	FI*	Ab*	Alcali réaction (autoclave)	C	ImP	S et SA*
GTMP001	Code A	f > 1,5%	A à C	Code A	Code A	NR	<0,01	<0,1	Code A
GTMP006	Code A	f > 1,5%	A à C	Code A	Code A	PR	<0,01	<0,1	Code A
GTMP008	Code A	f > 1,5%	A à C	Code A	Code A	PR	<0,01	<0,1	Code A
GTMP010	Code B ou C	f > 1,5%	A à C	Code A	Code A	PR	<0,01	<0,1	Code A
GTMP012	Code A	f > 1,5%	A à C	Code A	Code A	NR	<0,01	<0,1	Code A
GTMP015	Code A	f > 1,5%	A à C	Code A	Code A	NR	<0,01	<0,1	Code A

Tableau 13 : Classement des échantillons de Maripasoula 2019 par rapport aux spécifications d'usage pour les gravillons dans les bétons hydrauliques et mortiers.

La combinaison des différents résultats d'essai permet le classement des échantillons en trois catégories de matériaux.

La **première catégorie** correspond aux échantillons GTMP001, GTMP012 et GTMP015. Elle répond dans l'ensemble aux exigences de la norme, hormis la granulométrie (taux de fine trop important). En effet, les essais Los Angeles, la résistance au gel, le coefficient d'aplatissement, l'absorption d'eau et le taux de soufre et sulfate solubles dans l'acide en font des matériaux de bonne qualité (code A). Les teneurs en chlorure et en impuretés prohibées sont faibles et les essais d'alcali réaction indiquent une non-réactivité des échantillons à ce paramètre. Concernant la granulométrie, des essais complémentaires devront être menés afin de déterminer si une répartition granulométrique répondant aux exigences normatives peut être établie (par exemple grâce à de la recomposition ou à un process de traitement adapté).

Pour l'échantillon GTMP001, il est rappelé que l'étude pétrographique a mis en valeur des éléments pouvant montrer un potentiel réactif à l'alcali réaction malgré la qualification en non-réactif des essais à l'autoclave. Des tests complémentaires seront à mener afin de préciser ce paramètre dans le cas d'un emploi pour les applications définies dans la norme NF P 18545 - article 10.

La **deuxième catégorie** correspond aux échantillons GTMP006 et GTMP008. Elle répond aux exigences de la norme à l'exception de la granulométrie (taux de fine trop important) et de la potentielle réactivité au phénomène d'alcali-réaction. Les essais Los Angeles, la résistance au gel, le coefficient d'aplatissement, l'absorption d'eau et le taux de soufre et sulfate solubles dans l'acide en font des matériaux de bonne qualité (code A). Les teneurs en chlorure et en impuretés prohibés sont faibles.

Concernant la granulométrie, des essais complémentaires devront être menés afin de déterminer si une répartition granulométrique répondant aux exigences normatives peut être établie (par exemple grâce à de la recomposition ou à un process de traitement adapté).

Le potentiel réactif à l'alcali-réaction est quant à lui un paramètre très sensible pour les bétons. Ainsi, il est conseillé de ne pas utiliser ces matériaux pour des applications de bétons hydrauliques au vu des conditions climatiques de la Guyane. Dans le cas où ces lithologies seraient employées, les dispositions nécessaires devront être mises en place afin d'éviter l'activation de l'alcali-réaction par le troisième facteur conduisant à la réaction (taux de Na_2O équivalent supérieur au seuil limite de référence).

La **troisième catégorie** répond peu aux exigences de la norme et correspond à l'échantillon GTMP010. La granulométrie n'est pas conforme au fuseau normatif et devrait être corrigée à plusieurs niveaux et notamment sur le taux de fine trop important. L'essai Los Angeles est de code B ou C. La résistance au gel, le coefficient d'aplatissement, l'absorption d'eau et le taux de soufre et sulfate solubles dans l'acide sont quant à eux conformes (code A).

Concernant la granulométrie, des essais complémentaires devront être menés afin de déterminer si une répartition granulométrique répondant aux exigences normatives peut être établie (par exemple grâce à de la recomposition ou à un process de traitement adapté).

Le potentiel réactif à l'alcali-réaction est quant à lui un paramètre très sensible pour les bétons. Ainsi, il est conseillé de ne pas utiliser ces matériaux pour des applications de bétons hydrauliques au vu des conditions climatiques de la Guyane. Dans le cas où ces lithologies seraient employées, les dispositions nécessaires devront être mises en place afin d'éviter l'activation de l'alcali-réaction par le troisième facteur conduisant à la réaction (taux de Na_2O équivalent supérieur au seuil limite de référence).

Les lithologies GTMP001, GTMP012 et GTMP015 montrent ainsi un meilleur potentiel pour les applications définies par la norme NF P 18 545 – Article 10 que les autres échantillons à condition de maîtriser la répartition granulométrique. Le Tableau 14 présente les spécifications d'usage pour des sables 0/2 mm pour les bétons hydrauliques et des mortiers.

Échantillon	Gr*	f*		FM*	P*		Ab*	Alcali réaction - Autoclave	C	ImP	S et SA*
		NF EN 12 620	NF EN 13 139		SE (10)	MB					
GTMP001	Possibilité de correction à étudier*	Code A	NC pour Vss = 3 sinon conforme	Code A	Code A	< 1,5	Code A	NR	<0,01	<0,1	Code A
GTMP006	Possibilité de correction à étudier*	Code A	NC pour Vss = 3 sinon conforme	Code A	Code A	< 1,5	Code A	PR	<0,01	<0,1	Code A
GTMP008	Possibilité de correction à étudier*	Code A	NC pour Vss = 3 sinon conforme	Code A	Code A	< 1,5	Code A	PR	<0,01	<0,1	Code A
GTMP010	Possibilité de correction à étudier*	Code A	NC pour Vss = 3 sinon conforme	Code A	Code B, C, D	< 1,5	Code A	PR	<0,01	<0,1	Code A
GTMP012	Possibilité de correction à étudier*	Code A	NC pour Vss = 3 sinon conforme	Code A	Code A	< 1,5	Code A	NR	<0,01	<0,1	Code A
GTMP015	Possibilité de correction à étudier*	Code A	Conforme	Code A	Code A	< 1,5	Code A	NR	<0,01	<0,1	Code A

Tableau 14 : Classement des échantillons prélevés dans le cadre de cette étude par rapport aux spécifications d'usage pour du sable 0/2 mm dans les bétons hydrauliques et mortiers.
NR = Non réactif ; NC = Non conforme.

* Une étude spécifique devra être menée afin de déterminer si des modalités de correction de la granulométrie seraient applicables afin de correspondre aux exigences des normes en vigueur.

La combinaison des différents résultats d'essai permet le classement des échantillons en quatre catégories de matériaux.

La **première catégorie** correspond aux échantillons GTMP001 et GTMP012. Elle répond dans l'ensemble aux exigences de la norme hormis la granulométrie (tamis de 1 mm à corriger et tamis de 0,063 mm pour les mortiers si $V_{ss} = 3$ pris en compte). En effet, le module de finesse, la propreté du sable, l'absorption d'eau et les taux de soufre et sulfate solubles dans l'acide en font des matériaux de bonne qualité (code A). Les teneurs en chlorure et en impuretés prohibées sont faibles et les essais d'alcali-réaction indiquent une non-réactivité des échantillons à ce paramètre. Concernant la granulométrie, des essais complémentaires devront être menés afin de déterminer si une répartition granulométrique répondant aux exigences normatives peut être établie (par exemple grâce à de la recomposition ou à un processus de traitement adapté).

Pour l'échantillon GTMP001, il est rappelé que l'étude pétrographique a montré des éléments pouvant montrer un potentiel réactif à l'alcali réaction malgré la qualification en non-réactif des essais à l'autoclave. Des tests complémentaires seront à mener afin de préciser ce paramètre dans le cas d'un emploi pour les applications définies dans la norme NF P 18545 - article 10.

La **deuxième catégorie** correspond aux échantillons GTMP006 et GTMP008. Elle répond aux exigences de la norme à l'exception de la granulométrie (tamis de 1 mm à corriger et tamis de 0,063 mm pour les mortiers si $V_{ss} = 3$ pris en compte) et de la potentielle réactivité au phénomène d'alcali-réaction. Le module de finesse, la propreté du sable, l'absorption d'eau et les taux de soufre et sulfate solubles dans l'acide en font des matériaux de bonne qualité (code A). Les teneurs en chlorure et en impuretés prohibées sont faibles. Concernant la granulométrie, des essais complémentaires devront être menés afin de déterminer si une répartition granulométrique répondant aux exigences normatives peut être établie (par exemple grâce à de la recomposition ou à un processus de traitement adapté).

Le potentiel réactif à l'alcali-réaction est quant à lui un paramètre très sensible pour les bétons. Ainsi, il est conseillé de ne pas utiliser ces matériaux pour des applications de bétons hydrauliques au vu des conditions climatiques de la Guyane. Dans le cas où ces lithologies seraient employées, les dispositions nécessaires devront être mises en place afin d'éviter l'activation de l'alcali-réaction par le troisième facteur conduisant à la réaction (taux de Na_2O équivalent supérieur au seuil limite de référence).

La **troisième catégorie** correspond aux échantillons GTMP010. Elle ne répond pas aux exigences de la norme à cause de la granulométrie (tamis de 1 mm à corriger et tamis de 0,063 mm pour les mortiers si $V_{ss} = 3$ pris en compte), du potentielle réactif au phénomène d'alcali-réaction et de la propreté du sable inférieure au code A. Le module de finesse, l'absorption d'eau et les taux de soufre et sulfate solubles dans l'acide seraient quant à eux conforme pour un produit de bonne qualité (code A). Les teneurs en chlorure et en impureté prohibées sont faibles. Au vu des différents paramètres cette lithologie est à éviter pour les applications bétons hydrauliques et mortiers.

La **quatrième catégorie** répondrait le mieux aux exigences de la norme et correspond à l'échantillon GTMP015, à l'exception de la granulométrie au tamis de 1 mm à corriger. Le module de finesse, la propreté du sable, l'absorption d'eau et les taux de soufre et sulfate solubles dans l'acide en font un matériau de bonne qualité (code A). Les teneurs en chlorure et en impuretés prohibées sont faibles et les essais d'alcali réaction indiquent une non-réactivité de cet échantillon à ce paramètre.

Concernant la granulométrie, des essais complémentaires devront être menés afin de déterminer si une répartition granulométrique répondant aux exigences normatives peut être établie (par exemple grâce à de la recomposition ou à un processus de traitement adapté).

La lithologie GTMP015 montre ainsi un meilleur potentiel pour les applications définies par la norme NF P 18 545 – Article 10 (bétons hydrauliques et mortiers) que les autres échantillons à condition de maîtriser la répartition granulométrique.

5. Discussion et conclusion

Le Tableau 15 présente une synthèse des résultats des applications possibles en rapport avec la norme NF P 18 545 de toutes les lithologies de roches dures échantillonnées dans le cadre de cette étude. Il est important de rappeler que ces résultats sont basés uniquement sur une campagne de prélèvements limitée et qu'ils sont, par conséquent, à confirmer par de plus amples investigations.

L'échantillon **GTMP012** (granodiorite à biotite) est celui qui présente le plus grand potentiel d'utilisation dans le BTP et donc pour l'ouverture d'une carrière. En effet, cette lithologie semble être utilisable avec une correction du taux de fines pour des applications telles que les chaussées en GNT (Grave Non Traitée) et en enrobés bitumineux. Elle est aussi employable pour de faibles trafics (< 150 poids lourds / jour) sur des chaussées et des couches de roulement dans les bétons bitumineux (à l'exception des BBDr, BBTM et BBUM) et les enrobés à froid ainsi que pour des chaussées en bétons de ciments dans des couches de roulement. En corrigeant la granulométrie et le taux de fine, la roche concassée en gravillons et en sable peut-être employée pour la fabrication de bétons hydrauliques et de mortiers.

La lithologie **GTMP015** (tonalite à amphibole) montre quant à elle un bon potentiel pour une utilisation en chaussée pour couche de roulement (à l'exception de BBS) à des trafics importants (jusqu'à 750 poids lourds / jour voir jusqu'à 2 000). Elle serait également adaptée à une utilisation en couches de roulement pour des chaussées de bétons de ciments à des trafics supérieurs à 150 PL / j. Avec une légère correction granulométrique sur le tamis de 1 mm pour les sables et sur le taux de fines pour les gravillons, GTMP015 constitue le meilleur échantillon de cette campagne pour la fabrication des bétons hydrauliques et des mortiers.

Les échantillons **GTMP006** (métabasalte) et **GTMP008** (méta-andésite à amphibole) présentent des potentiels d'applications similaires. En effet, il serait envisageable de les utiliser pour des chaussées en couches de fondation, de base et de liaison en GNT et enrobés bitumineux en majorité des cas pour de faibles trafics. Ils auraient également un potentiel pour une utilisation en chaussées bétons de ciments pour de faible trafic (< 150 PL / j). **Concernant des applications pour les bétons et mortiers, ces lithologies sont fortement déconseillées essentiellement à cause de leur potentiel réactif à l'alcali-réaction.**

L'échantillon **GTMP010** (méta-andésite) est le seul à pouvoir être utilisé en chaussées couches de fondation, de base et de liaison pour de la grave traitée au liants hydrauliques (GTLH) pour de faibles trafics (inférieur à 150 ou 300 PL/j). Il est également employable pour de la grave non-traitée (GNT) pour des trafics très faibles (inférieur à 25 ou 50 PL/j). Aucune autre application ne semble envisageable par rapport aux résultats obtenus lors de cette étude.

L'échantillon **GTMP001** (amphibolite/métabasalte) semble uniquement utilisable pour la fabrication de bétons hydrauliques et de mortiers après correction de la granulométrie. **Attention cependant au potentiel réactif à l'alcali-réaction montré par l'étude pétrographique.** Des tests complémentaires seront à mener afin de préciser ce paramètre dans le cas d'un emploi pour les applications définies dans la norme NF P 18545 - article 10.

En conclusion, dans l'optique de l'ouverture d'une carrière, cette étude montre très clairement l'hétérogénéité géotechnique et pétrographique des roches dures appartenant à l'Unité de Paramaca (i.e., métavolcanites et métapyroclastites) et, de ce fait, la complexité à identifier un gisement homogène pour ce type de lithologie. De plus, la présence d'actinolite-trémolite asbestiforme dans certains échantillons démontre la forte susceptibilité à la présence d'amiante environnemental naturel que pourrait posséder l'unité de Paramaca. Ceci constitue un argument fortement défavorable quant à l'ouverture d'une carrière de granulats dans cette unité. Si toutefois des projets d'ouverture de carrière dans ces roches venaient à voir le jour, les acteurs des dits projets devront se conformer à l'article L4412-2 du Code du travail et démontrer l'absence d'amiante dans le gisement. Par contre, et malgré un échantillonnage moins représentatif, les roches plutoniques (i.e., tonalite et granodiorite du Complexe central de TTG, généralement plus homogènes en termes de pétrographie) fournissent le plus haut potentiel d'application et donc d'ouverture de carrière. Dans cette optique, et en dehors de toutes considérations environnementales et archéologiques (celles-ci devront néanmoins être étudiées avec minutie dans le cas d'un projet d'ouverture de carrière), nous recommandons de mener des investigations complémentaires dans les granitoïdes exposés à l'est de Maripasoula (Figure 34 ; secteur de Winiwé, Tolinga, Bicaide). La piste Sophie, qui mène vers ce secteur, nous semble être un argument supplémentaire.

Applications norme NF P 18 545			GTMP001	GTMP006	GTMP008	GTMP010	GTMP012	GTMP015
Article 7 - Chaussées : couches de fondation, de base et de liaison	GNT	Fondation		150 à 300 PL / j	150 à 300 PL / j	10 à 50 PL / j	150 à 300 PL / j	
		Base		< 150 PL / j	< 150 PL / j	< 25 PL / j	< 150 PL / j	
		Structures inverses		> 150 PL / j	> 150 PL / j		> 150 PL / j	
	GTLH	Fondation				< 300 PL / j		
		Base				< 150 PL / j		
	Enrobés bitumineux	Liaison BBSG, BBME		> 150 PL / j	> 150 PL / j		> 150 PL / j	
		Liaison BBM		> 150 PL / j	> 150 PL / j		> 150 PL / j	
Base, Fondation GB, EME			> 150 PL / j	> 150 PL / j		> 150 PL / j		
Article 8 - Chaussées couches de roulement	Bétons bitumineux	BBSG, BBME, BBM					< 150 PL / j	150 à 2000 PL / j
		BBDr, BBTM, BBUM						150 à 2000 PL / j
		BBS					< 150 PL / j	
	Enrobés coulés à froid (ECF)					< 150 PL / j	150 à 750 PL / j	
Article 9 - Chaussées bétons de ciments	Fondation							
	Roulement		< 150 PL / j (fraction 0/2 mm)	< 150 PL / j (fraction 0/2 mm)		< 150 PL / j (fraction 0/2 mm)	> 150 PL / j (fraction 0/2 mm)	
Article 10 - Bétons hydrauliques et mortiers	Gravillons	Adapté si correction taux de fine	Déconseillé (taux de fine à corriger et potentiellement réactif à l'alcali réaction)	Déconseillé (taux de fine à corriger et potentiellement réactif à l'alcali réaction)		Adapté si correction taux de fine	Adapté si correction taux de fine	
	Sables	Adapté si correction de la courbe granulométrie	Déconseillé (granulométrie à corriger et potentiellement réactif à l'alcali réaction)	Déconseillé (granulométrie à corriger et potentiellement réactif à l'alcali réaction)		Adapté si correction de la courbe granulométrie	Adapté (si correction du tamis 1 mm)	

Légende	
	Non adaptée
	Déconseillée (granulométrie à corriger et potentiellement réactif à l'alcali réaction)
	Valable uniquement si le taux de fine est corrigé
	Adaptée si correction de la courbe granulométrie
	Adaptée

Tableau 15 : Tableau de synthèse des lithologies échantillonnées dans le cadre de cette étude en 2019 par rapport aux applications de la norme NF P 18 545 et des normes associées.

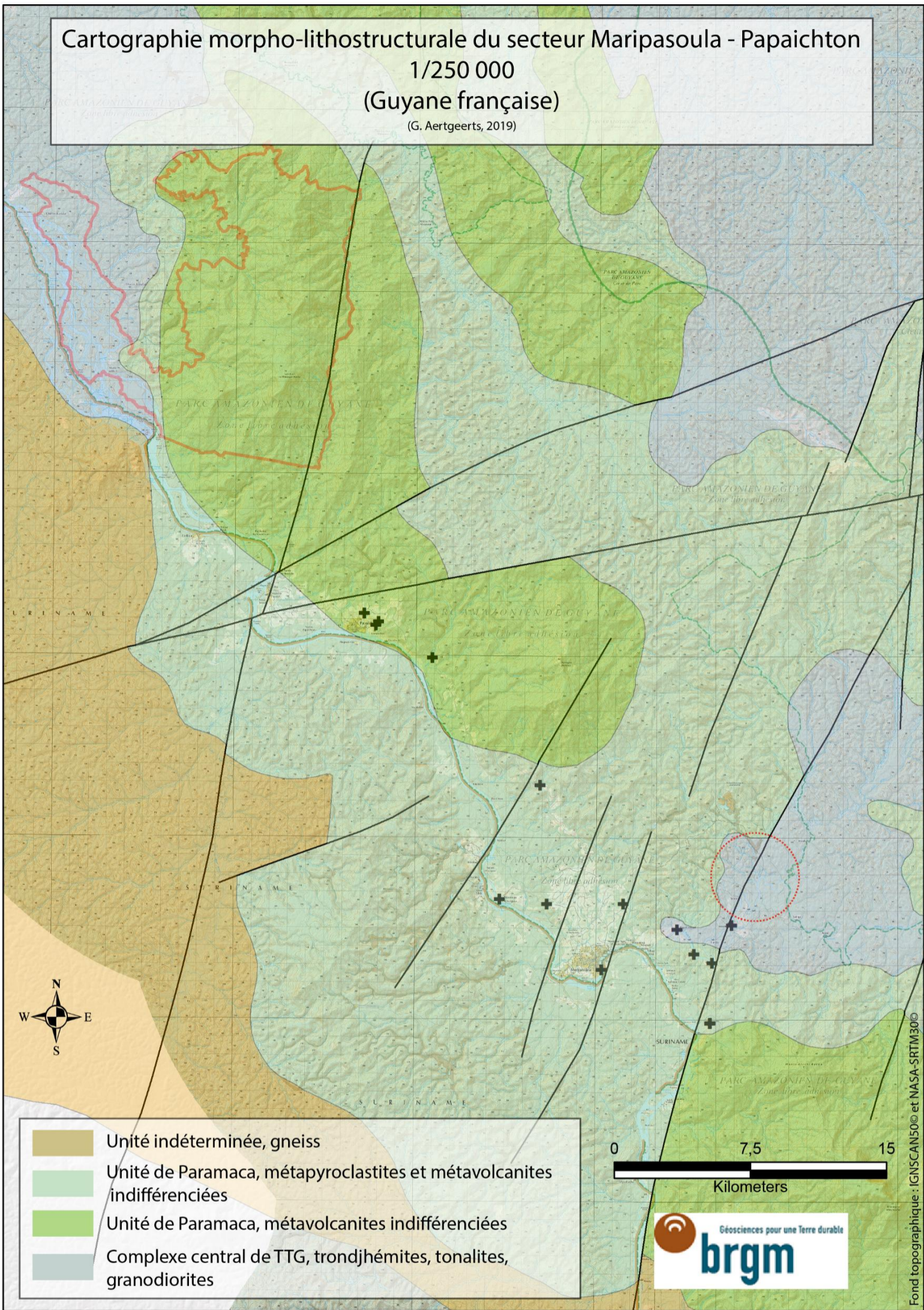


Figure 34 : Localisation du secteur préconisé (cercle rouge) pour des investigations complémentaires dans le cadre d'un projet d'ouverture de carrière de roche dure dans le secteur de Maripasoula.

6. Bibliographie

Barruol, J., Brosse, J.-M., and Langevin, C. (1977) - Notice explicative, Carte géol. France (1/100 000) Feuille d'Inini (1206), 23p. Carte géologique par Barruol *et al.* 1977, 23 p.

Brouwer, G.-C., and Coudert, P. (1966) - Notice explicative, Carte géol. France (1/100 000) Feuille de Maripasoula (1205), 23p. Carte géologique par Choubert *et al.* 1967, 23 p.

Cassard, D., Billa, M., Lambert, A. et al. (2008) - Gold predictivity mapping in French Guiana using an expert-guided data-driven approach based on a regional-scale GIS. *Ore Geology Reviews*, 34, 471–500.

Delor, C., Lahondère, D., Egal, E. et al. (2003) - Transamazonian crustal growth and reworking as revealed geological map of French Guiana (2 nd edition). *Geology of France and surrounding areas*.

Marteau P., Laporte P., Joseph B. (2002) - Reconnaissance préliminaire de gisements de sables et de roches dures dans les environs de Maripasoula - Guyane. Rapport BRGM RP-51469-FR SGR/GUY 02, 17 pages, 2 figures, 2 tableaux, 2 annexes.

Marteau, P., Nontanovanh, M., Joseph, B. et al. (2010) - Cartographie des formations géologiques superficielles et reconnaissance des ressources en matériaux BTP. Communes de Camopi, Maripasoula, Papaïchton, Grand Santi et Apatou (Guyane). Rapport final, Rapport BRGM/RP-59143-FR, 88 p., 31 fig., 1 annexe.

Piquet M., Bourbon P., Eber E. et al. (2015) - Caractérisation et évaluation des gisements de sables de la Guyane. Potentialités de valorisation - Communes de Maripasoula, Papaïchton, Saint-Georges-de-l'Oyapock et Saint-Laurent-du-Maroni. Rapport final. BRGM/RP-65032-FR, 139 p., 52 ill., 6 ann. CD-ROM.

Liste des symboles et abréviations

Ang	angularité ;
AS	teneur en sulfates soluble dans l'acide, exprimée en pourcentage ;
BBSG	béton bitumineux semi grenu ;
BBME	béton bitumineux à module élevé ;
BBM	béton bitumineux mince ;
C	teneur en chlorures, exprimée en pourcentage ;
d	dimension inférieure d'une classe granulaire, exprimée en millimètres ;
D	dimension supérieure d'une classe granulaire, exprimée en millimètres ;
ECS	écoulement des sables, exprimé en secondes ;
f	teneur en fines (passant à 0,063 mm), exprimée en pourcentage ;
F	résistance au gel-dégel, exprimée en pourcentage ;
FI	coefficient d'aplatissement ;
FM	module de finesse ;
FS	friabilité des sables ;
FT	résistance au gel-dégel, exprimée en pourcentage ;
FTP	fiche technique de produit ;
GB	grave-bitume ;
GNT	grave non traitée ;
Gr	granulométrie ;
GTLH	grave traitée aux liants hydrauliques ;
ECF	enrobés coulés à froid ;
EME	enrobé à module élevé ;
ESU	enduits superficiels d'usure ;
ImP	impuretés prohibées ;

LA	coefficient Los Angeles ;
Li, Ls	limites extrêmes, inférieure et supérieure, bornant le fuseau de spécifications ;
MB	valeur de bleu sur le 0/2 mm, exprimée en g/kg ;
MDE	coefficient micro Deval en présence d'eau ;
NC	non conforme ;
NR	non réactif ;
P	propreté (MB ou SE(10)) ;
PL-MJA	poids lourds journalier moyen ;
PO	polluants organiques ;
PR	potentiellement réactif
PSV	coefficient de polissage accéléré ;
RPA	résistance au polissage accéléré ;
S	teneur en soufre total, exprimée en pourcentage ;
SE(10)	équivalent de sable limité à 10 % de fines, exprimée en pourcentage ;
Vsi, Vss	valeurs spécifiées, inférieure et supérieure, bornant le fuseau de régularité ;
W	teneur en eau, exprimée en pourcentage ;
WA24	coefficient d'absorption d'eau, exprimé en pourcentage.



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemain
BP 36009
45060 - Orléans Cedex 2 - France
Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale de Guyane
Domaine de Suzini, Route de Montabo
BP 10552
97333 Cayenne Cedex 2 - France
Tél. : 05 94 30 06 24