

PROJET SEDIASPHALTE

Livrable 1.2 Choix des sédiments et méthodes de formulations

-Expertise technique et avis-



Table des matières

I.	Objet de l'étape 1 du projet et du présent livrable	4
II.	Expertise technique et avis sur la caractérisation des cinq sédiments retenus	4
II.1.	Expertise technique et avis sur la caractérisation physique des sédiments retenus .	4
II.2.	Expertise technique et avis sur la caractérisation environnementale des sédiments retenus.....	7
II.1.	Expertise technique et avis sur la caractérisation minéralogique des sédiments retenus.....	9
III.	Méthodes de formulations des asphaltes coulés.....	10
III.1.	Différents types d'asphaltes coulés	10
III.1.1.	Asphalte pur étanchéité	10
III.1.2.	Asphalte sablé étanchéité (AS1 et AS2).....	11
III.1.3.	Asphalte gravillonné d'étanchéité	12
III.2.	Propriétés des asphaltes coulés	12
IV.	Conclusion de la partie choix des sédiments et méthodes de formulations - Expertise technique et avis -	14
V.	Annexes	15

Liste des figures

<i>Figure 1. Distribution granulométrique des sédiments retenus pour la suite de l'étude (Réalisées par IMT Nord Europe).....</i>	<i>5</i>
<i>Figure 2. Observations au microscope des sédiments de l'étude (à gauche GPMD – à droite MEL)</i>	<i>9</i>
<i>Figure 3. Application des asphaltes d'étanchéité (AP, AS)</i>	<i>11</i>

Liste des tableaux

<i>Tableau 1. Synthèse des résultats de caractérisation physique des sédiments retenus (Essais réalisés par IMT Nord Europe).....</i>	<i>5</i>
<i>Tableau 2. Caractérisation environnementale des sédiments de l'étude.....</i>	<i>8</i>
<i>Tableau 3. Types et caractéristiques des asphaltes d'étanchéité</i>	<i>11</i>

I. Objet de l'étape 1 du projet et du présent livrable

Cette première étape avait pour objectif la réalisation d'une étude bibliographique détaillée et actualisée sur les gisements de sédiments de la région des Hauts de France (données issus des projets SEDIMATERIAUX). Ceci permettra d'identifier les paramètres essentiels et les gisements de sédiments qui seront exploités pour la suite de l'étude en lien avec les applications cibles. En parallèle, une étude bibliographique a été menée sur les asphaltes d'étanchéités et leurs méthodes de formulations. Ces actions ont été réalisées par IMT Nord Europe.

L'action de NordAsphalte consistait, dans un premier temps, à donner son avis et réaliser une expertise technique sur le choix des sédiments retenus pour la suite de l'étude. Et dans un deuxième temps, de donner son avis et réaliser une expertise technique sur les méthodes de formulations des asphaltes coulés. Ces deux actions réalisées par NordAsphalte sont importantes pour la préparation des sédiments sélectionnés et l'optimisation des formulations en laboratoire et la réalisation des pilotes à échelle 1.

II. Expertise technique et avis sur la caractérisation des cinq sédiments retenus

Sur la base des actions réalisées par l'IMT Nord Europe dans cette première étape du projet, cinq gisements de sédiments de la région des HdF ont été retenus pour la suite de l'étude. Les sédiments sélectionnés pour la suite de l'étude sont : Sédiments du Grand Port maritimes de Dunkerque (**GPMD**), les sédiments de la Métropole de Lille (**MEL**), les sédiments des Voies Navigables de France (**VNF**) (Aire/Lys (ASL), Noyelles Sous Lens (NSL)), les sédiments de l'agglomération de Saint Omer (**CAPSO**), et les sédiments de l'agglomération de Arras (**ARS**). Plusieurs essais de caractérisation ont été réalisés par IMT Nord Europe sur l'ensemble de ces sédiments.

II.1. Expertise technique et avis sur la caractérisation physique des sédiments retenus

Des essais de caractérisation physique réalisés par l'IMT Nord Europe sont les suivants :

- Mesure de la teneur en eau selon la norme NF EN 12880 ;
- Mesure de la teneur en matière organique (C_{MOC}) et perte au feu (PAF) selon la norme NF EN 15169 ;

- Mesure de la teneur en carbonate selon la norme NF P 94-048 ;
- Mesure de la masse volumique absolue selon la norme NF EN 1097-7 ;
- Analyse Granulométrique au granulomètre laser selon la norme XP P 94-041 ;
- Mesure des limites d'Atterberg (IP) selon la norme NF EN ISO 17892-12 ;
- Mesure de la valeur au bleu de méthylène (VBS) selon la norme NF P 94-068.

Les résultats des essais de caractérisations physiques, réalisés par IMT NE, sont présentés dans le tableau 1 et la figure 1.

Tableau 1. Synthèse des résultats de caractérisation physique des sédiments retenus (Essais réalisés par IMT Nord Europe)

Sédiments	Type	Teneur en eau	M, volumique	VBS	CMOC (450°C)	PAF (550°C)	LW	LP	IP	Teneur en CaCO ₃
		%	Mg/m ³	g/100g MS	%	%	%			%
GPMD	Marin	12,08	2,45	2,27	11	15,14	107	46	61	45,33
ARS	Fluv.	21,78	2,45	1,91	9,61	10,6	104	35	69	13,11
VNF-ASL	Fluv.	6,16	2,56	2,00	5,96	6,78	55,22	35,79	19,43	5,61
MEL	Fluv.	8,45	2,39	1,30	13,15	13,82	63,54	49,13	14,41	7,62
CAPSO	Fluv.	10,13	2,60	1,56	3,58	4,05	50,36	28,88	21,49	13,09
VNF-NSL	Fluv.	25,28	2,45	1,61	10,63	12,22	60,85	36,11	24,74	17,08

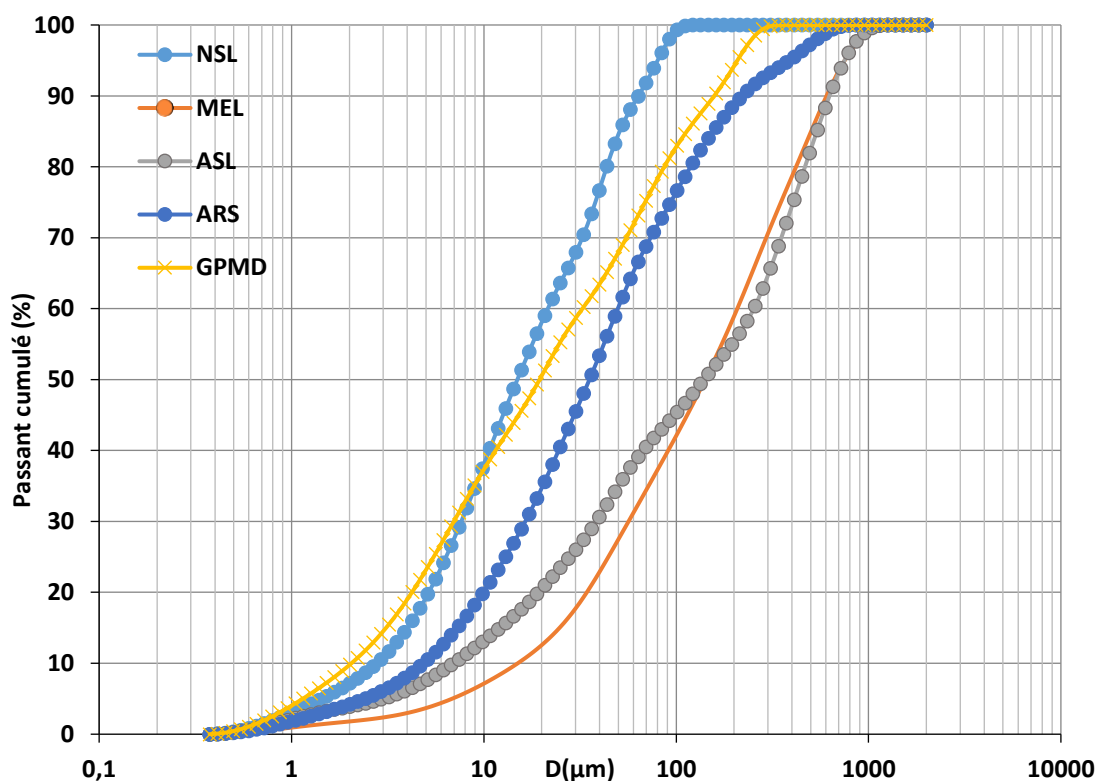


Figure 1. Distribution granulométrique des sédiments retenus pour la suite de l'étude (Réalisées par IMT Nord Europe)

D'après les résultats de caractérisation physique, les sédiments ont des teneurs en eau variant entre 6 et 25%. Pour la fabrication des asphaltes coulés (AC) la teneur en eau des agrégats doit être inférieure à 5%. Les teneurs en eau des sédiments étudiés ne permettent pas leur utilisation en l'état dans le process de fabrication des AC. Un prétraitement par déshydratation sera nécessaire afin de réduire leur teneur en eau.

D'après les résultats des analyses granulométriques (figure 1), il s'avère que les sédiments NSL, GPMD et ARS sont des matériaux très fins, avec des fractions granulaires majoritairement inférieures à 100µm (plus de 70% des particules ont un diamètre inférieur à 100µm). Ceci peut être un point positif pour l'incorporation des sédiments dans les asphaltes coulés, en substitution des fillers calcaire, dont le diamètre max est généralement inférieur à 100µm. Concernant les sédiments MEL et ASL, la fraction inférieure à 100µm est de l'ordre de 45%. Ces derniers peuvent potentiellement être utilisés en substitution des sables fins pour la formulation des asphaltes coulés.

Pour les caractéristiques VBS et limites d'Atterberg, les sédiments GPMD, ARS et ASL, présentent des valeurs de VBS de 2,27 ; 1,91 et 2,00g/100g, respectivement. Ceci montre qu'ils présentent une sensibilité à l'eau (importante absorption d'eau). Ceci peut engendrer une grande absorption du bitume lors des formulations des asphaltes coulés. En d'autres termes, l'utilisation de ces sédiments dans les formulations peut engendrer une surconsommation de bitume, donc des AC avec des teneurs en bitume plus importantes. Ces remarques sont conformes avec les résultats des mesures des limites d'Atterberg. Ces valeurs sont probablement liées à la présence des matières organiques.

Dans les formulations des AC, le taux des fillers calcaires (composés d'au moins de 90% de carbonates (CaCO_3)), peut atteindre 35%. Pour limiter les effets indésirables de l'incorporation des sédiments dans les formulations des AC il faut que les sédiments contiennent le maximum de carbonates. D'après les résultats de mesure des quantités de carbonates (tableau 1), les sédiments GPMD contiennent la plus grande concentration. Pour les autres sédiments les concentrations sont comprises entre 5 et 17%.

II.2. Expertise technique et avis sur la caractérisation environnementale des sédiments retenus

Les résultats de la caractérisation environnementale des sédiments retenus, réalisés par IMT Nord Europe, sont présentés dans le tableau 2. Les essais de lixiviation pour quantifier les métaux lourds ont été réalisés conformément à la norme NF EN 12457-2. Les mesures des composés organiques ont été réalisées sur la fraction totale et sur éluats (Tableau 2). D'après ces résultats les sédiments sont classés comme non inertes-non dangereux.

La présence des hydrocarbures type HAP (sédiments MEL et NSL) dans les sédiments peut être un facteur limitant pour leur utilisation dans les formulations des AC. En effet, la présence des HAP dans les granulats réduit l'efficacité de l'enrobage de ces derniers. Ceci agit défavorablement sur la cohésion du mélange bitume-granulats.

Certains sédiments (CAPSO, MEL et GPMD) de l'étude présentent des concentrations importantes de métaux lourds. Il est connu que les métaux lourds peuvent être des éléments perturbateurs de la stabilité/durabilité des asphaltes.

D'après ces résultats un ou plusieurs prétraitements (chimique et/ou biologique) doivent préconiser afin d'améliorer la qualité chimique des sédiments de l'étude afin de limiter les effets indésirables lors de leur incorporation dans les formulations des AC.

L2.1. Choix des sédiments et méthodes de formulation – Avis techniques et Expertise

Tableau 2. Caractérisation environnementale des sédiments de l'étude

Paramètre	Unité	ISDI	ISDND	CAPSO	ARS	ASL	MEL	NSL	GPMD
Matière sèche	% massique	<30		86,5	67,3	85,6	95,6	65,6	72
COT	mg/kg MS	30 000	50 000	19500	37 200	27 000	73 000	90 000	39 700
BTEX totaux	mg/kg MS	6	30	<0,25	0,25	0,3	0,25	2	0,38
Somme HAP (16) - EPA	mg/kg MS	50	100	6,3	4,4	2,87	46	22	1,9
PCB totaux (7)	Mg/kg MS	1	50	45	0,013	0,05	46	0,26	0,04
HCT C10-C40	mg/kg MS	500	5000	502	427	1,3	505	2320	875
Métaux lourds sur éluats en (mg/kg de matière sèche)									
antimoine	mg/kg MS	0,06	0,7	0,18	-	<0,03	0,14	0,09	0,0664
arsenic	mg/kg MS	0,5	2	0,07	<0,04	0,34	0,05	<0,05	<0,08
baryum	mg/kg MS	20	100	0,25	1,04	0,35	0,35	0,43	0,3701
cadmium	mg/kg MS	0,04	1	<0,04	0,01	0,01	0,004	0,01	<0,008
chrome	mg/kg MS	0,5	10	<0,01	0,02	0,365	0,012	<0,01	<0,03
cuivre	mg/kg MS	2	50	<0,05	<0,05	0,37	0,4	0,28	0,1919
mercure	mg/kg MS	0,01	0,2	<0,01	<0,0005	0,11	0,01	<0,01	0,004
plomb	mg/kg MS	0,5	10	<0,1	<0,1	0,49	0,1	<0,1	<0,03
molybdène	mg/kg MS	0,5	10	0,097	0,05	0,049	0,063	0,11	0,6178
nickel	mg/kg MS	0,4	10	<0,1	0,02	0,16	0,1	0,13	<0,03
sélénium	mg/kg MS	0,1	0,5	<0,06	<0,039	0,022	0,039	0,05	<0,07
zinc	mg/kg MS	4	50	<0,2	0,09	1,85	0,21	1,2	<0,06
Autre paramètre sur éluats									
COT	mg/kg MS	500	800	95	82	47	94	94	47
Indice phénol	mg/kg MS	1	10	<0,1	<0,1	-	<0,1	<0,1	0,01
chlorure	mg/kg MS	800	15000	30	42	55,46	24	20	14900
sulfate	mg/kg MS	1000	20 000	974	930	552,3	554	5350	12580

II.1. Expertise technique et avis sur la caractérisation minéralogique des sédiments retenus

L'étude de caractérisation des sédiments sélectionnés consistait à faire des essais de diffraction aux rayons X, fluorescence aux rayons X et observations au microscope électronique. Ces essais ont été réalisés au laboratoire de l'IMT Nord Europe. Les résultats ont révélé que les sédiments étudiés sont composés principalement de silice (SiO_2) et de calcaire (CaCO_3). Sachant que les fillers sont composés principalement de calcaire (CaCO_3), la présence de silice dans les sédiments étudiés peut limiter leur utilisation en remplacement des fillers calcaires. Par contre l'utilisation de ces derniers en substitution du sable fin (0-2mm) peut s'avérer une solution afin de maximiser leur incorporation dans les AC. Dans la littérature certaines études ont démontré la faisabilité de l'utilisation de divers sous-produits (cendre volante, brique broyée, verre broyé), composé majoritairement de silice dans la formulation des enrobés bitumineux et d'asphaltes coulés.

Les observations au microscope électronique ont permis de voir la présence de débris végétaux de forme allongé, dans les sédiments MEL et NSL. La présence de ces derniers n'est pas très favorable pour la bonne tenue mécanique des AC. Les sédiments doivent être prétraité (prétraitement thermique, par exemple) afin d'éliminer complètement ces débris végétaux. Les observations des sédiments de GPMD et de CAPSO ont montré la présence de coquilles. Il est connu que ces coquilles sont composées principalement de carbonates. Un broyage fin de ces sédiments permettra d'augmenter le taux de carbonate disponible lors de la formulation des AC.

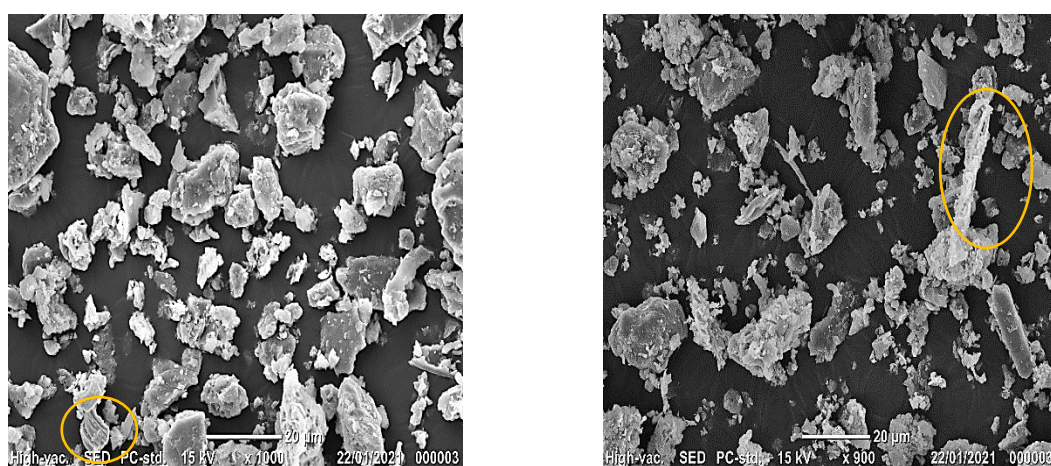


Figure 2. Observations au microscope des sédiments de l'étude (à gauche GPMD – à droite MEL)

III. Expertise technique et avis sur les méthodes de formulations des asphaltes coulés

L'Asphalte coulé d'étanchéité (AC) peut être définie comme un mélange dense constitué de gros granulats, et/ou de sable, et/ou de granulats fins calcaires, et/ou de filler et de bitume, pouvant contenir des additifs. Les règles de formulations et de fabrication des asphaltes coulés sont extraites du **Fascicule 10**-Cahier des prescriptions administratives et techniques communes aux **asphaltes coulés**. Dans cette partie du présent rapport, il sera présenté les différents types des AC et les méthodes de leur formulations/compositions.

III.1. Différents types d'asphaltes coulés

Il existe trois grandes familles d'asphaltes coulés, dont ils sont détaillés ci-dessous :

III.1.1. Asphalte pur étanchéité

Les asphaltes purs sont composés de bitume et de fillers et dans certains cas on utilise du sable très fin pour réduire la proportion des fillers. Selon la destination de l'étanchéité à réaliser (toiture-terrasse, terrasses- jardins, terrasses-parkings, cuvelages, ouvrages d'art), il est possible d'agir sur la résistance au poinçonnement du produit fini. Le dosage en liant (bitume) est compris entre 16 et 23%.

Il existe trois principaux types d'asphalte pur dans le tableau 3:

- **AP1** : asphalte pur étanchéité, principalement utilisé pour l'imperméabilisation des toitures terrasses de bâtiments (complexe type 5 mm + 15 mm). La formule type (en masse) : poudre d'asphalte naturel : 86 % et bitume 40/50 d'ajout : 14 % ;
- **AP2** : asphalte pur spécial étanchéité, utilisé pour l'étanchéité des terrasses-parkings et ouvrages d'art. il est appliqué essentiellement selon des complexes 5+15+20 mm, selon le nouveau DTU 43.1;
- **AP5** : asphalte utilisé pour l'étanchéité des jardins.

Tableau 3. Types et caractéristiques des asphaltes d'étanchéité

Asphalte étanchéité	Composition (en %) ¹⁾					Indentation (résistance à l') (NF T 66-002) ⁶⁾		Conditions de mise en œuvre	
	Poudre d'asphalte naturel (NF B 13-001)	Fillers ²⁾	Granulats ³⁾	Bitume ⁴⁾		Type	Valeurs mini/ maxi (1/10 ^e de mm)	Température (°C)	Épaisseur mini/maxi (mm)
				% ⁴⁾	Péné. 25 ⁵⁾				
AP1	82 à 88	≥ 0	–	16 à 23	≥ 35	A	70 à 100	≤ 230	5 à 10
AP2	84 à 90	≥ 0	–	16 à 21	≥ 35	A	35 à 70	≤ 230	5 à 10
AP5	≥ 80	≥ 0	–	≥ 16	≥ 35	A	35 à 70	≤ 230	5 à 10
AS1	≥ 50	≥ 0	q.s.p 100	11 à 13,5	≥ 35	A	7 à 20	≤ 240	15 à 20
AS2	≥ 25	≥ 0	q.s.p 100	9 à 13	≥ 25	B	50 à 80	≤ 240	15 à 20
AG1	≥ 0	≥ 22	q.s.p 100	8 à 12	≥ 35	B	20 à 50	≤ 240	20 à 25
AG2	≥ 0	≥ 22	q.s.p 100	8 à 11	≥ 25	B	15 à 35	≤ 250	20 à 25
AG4	≥ 0	≥ 24	q.s.p 100	7 à 9	≥ 25	B	5 à 15	≤ 250	25 à 30
AG5	≥ 20	≥ 15	q.s.p 100	8,5 à 12	≥ 35	B	20 à 50	≤ 240	20 à 25

1) Le total est de 100 %.
2) Fines de granulométrie inférieure ou égale à 65 microns (CO₂Ca).
3) La dimension maximale des granulats est égale à la moitié de l'épaisseur de mise en œuvre.
4) Le pourcentage en bitume est le pourcentage total de bitume, y compris le bitume contenu dans la poudre d'asphalte naturel (le bitume peut être un bitume naturel ou un bitume de pétrole).
5) Pénétration à 25 °C suivant la norme NF EN 1426 de décembre 1999 (Bitumes et liants bitumineux. Détermination de la pénétrabilité à l'aiguille), pour le bitume d'ajout uniquement.
6) NF T 66-002 de décembre 1984 (Essais d'indentation appliqués aux asphaltes).

III.1.2. Asphalte sablé étanchéité (AS1 et AS2)

L'asphalte sablé d'étanchéité constitue un des complexes d'étanchéité les plus utilisés. Il permet d'assurer la protection de la première couche d'asphalte pur (figure 3). L'asphalte sablé d'étanchéité est un mélange **d'asphalte pur, de sables ou de gravillons**, ou un mélange des deux constituants seulement. Le dosage en liant (bitume) est compris entre 9 et 13,5%. La formule type d'un asphalte sablé est la suivante:

- Poudre d'asphalte naturel : > 50 % ;
- Bitume : > 9 % ;
- Sable : ≈ 35 %.

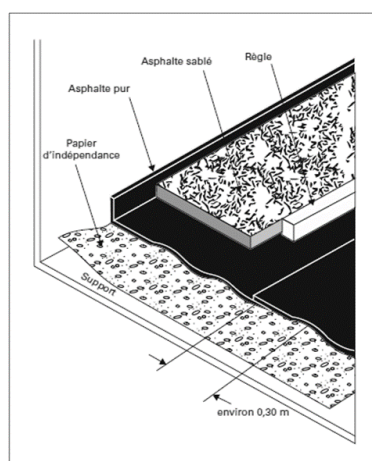


Figure 3. Application des asphaltes d'étanchéité (AP, AS)

III.1.3. Asphalte gravillonné d'étanchéité

Ce type d'asphalte est souvent employé pour les revêtements de protection des complexes d'étanchéité des terrasses-parkings et terrasses-jardins. Il est fabriqué avec les mêmes constituants que l'asphalte sablé d'étanchéité, mais avec en plus des gravillons (porphyre). Le pourcentage et la dimension des gravillons varient suivant l'épaisseur et la nature des revêtements à réaliser. Leur plus grande dimension ne devant pas être supérieure à la moitié de l'épaisseur du revêtement. Le dosage en liant (bitume) est compris entre 7 et 12%.

III.2. Propriétés des asphaltes coulés

La connaissance des propriétés des AC est très importante dans les études de formulations. En effet, ces propriétés constituent des paramètres intrinsèques des AC dont l'objectif des études de formulations est d'atteindre ces propriétés. Ci-dessous quelques propriétés des asphaltes coulés :

- En fonction du type d'asphalte coulé (le type et la quantité de graviers) l'asphalte coulé à une densité de 2,1 à 2,7 t/m³,
- L'asphalte coulé est étanche et sans pores. Grâce à la haute teneur en bitume et de fillers, l'asphalte coulé est un matériau pratiquement sans vides,
- L'asphalte coulé est résistant au gel. Grâce à la structure ferme, ni humidité ni sel de déglacage ne savent pénétrer dans l'asphalte coulé,
- L'asphalte coulé est acoustiquement isolant. Lors de l'utilisation du revêtement, les vibrations sont absorbées à une distance relativement courte,
- L'asphalte coulé est résistant aux attaques acides. A condition d'utiliser une composition adaptée, l'asphalte coulé à une haute résistance contre de nombreux acides,
- L'asphalte coulé est libre de poussière. L'asphalte coulé ne donne pas de poussière lors qu'il est circulé, lors de l'impact de la chute d'objets. L'asphalte coulé est donc durable et résistant aux chocs,
- L'asphalte coulé a une haute résistance au vieillissement, qui se traduit par une très longue durée de vie et d'utilisation,
- L'asphalte coulé peut être formulé rapidement. Le temps de refroidissement est très réduit. De ce fait les revêtements en AC peuvent immédiatement être mis en service,
- L'asphalte coulé demande peu d'entretien. Grâce à la structure fermée (peu de vides, absence de pores) l'asphalte coulé est très facile à nettoyer,
- L'asphalte coulé est flexible. Grâce à sa mise en œuvre liquide, l'asphalte coulé s'applique sans problèmes autour de toutes les formes et obstacles.

IV. Conclusion de la partie choix des sédiments et méthodes de formulations - Expertise technique et avis -

Les sédiments sont des matériaux issus des phénomènes naturels (érosions/ dépôts), ces particules installées dans le fond des ports maritimes et canaux de navigation présentent des problèmes pour les gestionnaires liés à l'exploitation des voies navigables et des infrastructures portuaires. C'est pour cette raison que le curage régulier des eaux marines et continentales est devenu une obligation. Des volumes importants sont extraits chaque année. Ces volumes de sédiments sont considérés comme des déchets.

L'objectif du présent projet est de démontrer la faisabilité technique, environnementale et économique de l'utilisation des différents sédiments de la Région des HdF dans les formulations des AC. Les sédiments seront utilisés en remplacement des fillers calcaires et des sables fins. Les études de caractérisation physicochimique et minéralogique, réalisées par IMT Nord Europe, ont révélé que les sédiments sélectionnés sont des matériaux fins, avec présence de contamination organique et métallique.

Au vu des caractéristiques des sédiments sélectionnés, leur utilisation dans les AC requiert des prétraitements préalables (physicochimique et/ou thermique) pour améliorer leur qualité et limiter leur impact négatif sur les propriétés des AC. En effet, les propriétés des sédiments, exemple l'absorption très élevée, peuvent induire une augmentation du taux de bitume nécessaire pour assurer les propriétés requises. Aussi, la présence d'hydrocarbures (HAP, PCB) peut altérer les propriétés d'adhérence granulats-bitume. Par ailleurs, le caractère fin des sédiments sélectionnés, fait de ces derniers de bon candidat pour entrer dans la formulation des AC, en substitution des fillers calcaires et des sables fins.

V. Annexes

FORMULE : AP1**IA : 90/100**

MATERIAUX	pourcentage	quantite pour 1 tonne
BITUME CUVE NYBIT 40		
BITUME SLN 120 4/12		0
FILLER CARBOCIA 80 VRAC		
MILLISIL C6		
OXYDE DE FER		
PORPHYRE 2/4		
PORPHYRE 2/6		
PORPHYRE 4/6		
PORPHYRE 6/10		
PORPHYRE 10/14		
SABLE 0/2 ROULE LAVE		
SABLE 0/4 SEMI CONCASSE		
SABLE 3/8 SILEX		
MARQUISE 6/10		
QUARTZ GB 4/6		
	100,00%	1000

FORMULE : AS1

IA : 7/20

MATERIAUX	pourcentage	quantite pour 1 tonne
BITUME CUVE NYBIT 40		
BITUME SLN 120 4/12		0
FILLER CARBOCIA 80 VRAC		
MILLISIL C6		
OXYDE DE FER		
PORPHYRE 2/4		
PORPHYRE 2/6		0
PORPHYRE 4/6		
PORPHYRE 6/10		
PORPHYRE 10/14		
SABLE 0/2 ROULE LAVE		
SABLE 0/4 SEMI CONCASSE		
SABLE 3/8 SILEX		
MARQUISE 6/10		
QUARTZ GB 4/6		
	100,00%	1000

FORMULE : AG1**IB : 30/40**

MATERIAUX	pourcentage	quantite pour 1 tonne
BITUME CUVE NYBIT 40		
BITUME SLN 120 4/12		0
FILLER CARBOCIA 80 VRAC		
MILLISIL C6		
OXYDE DE FER		
PORPHYRE 2/4		
PORPHYRE 2/6		
PORPHYRE 4/6		
PORPHYRE 6/10		
PORPHYRE 10/14		
SABLE 0/2 ROULE LAVE		
SABLE 0/4 SEMI CONCASSE		
SABLE 3/8 SILEX		
MARQUISE 6/10		
QUARTZ GB 4/6		
	100,00%	1000