



IMT Nord Europe
École Mines-Télécom
IMT-Université de Lille



IMT Nord Europe
École Mines-Télécom
IMT-Université de Lille



Région
Hauts-de-France



UNION EUROPÉENNE



Valorisation des sédiments de dragage dans les asphalte d'étanchiété

Fouad BELAYALI – 10 Mars 2021

Encadrant : MCF. Walid MAHERZI (IMT Nord Europe)
Directeur de thèse : Pr. Nor-Edine ABRIAK (IMT Nord Europe)
Co-directeur de thèse : Pr ,Ali ZAOUI Poly Tech Lille



IMT Nord Europe
École Mines-Télécom
IMT-Université de Lille

Valorisation des sédiments de dragage dans les asphalte d'étanchiété

sommaire

Contexte

Revue bibliographique

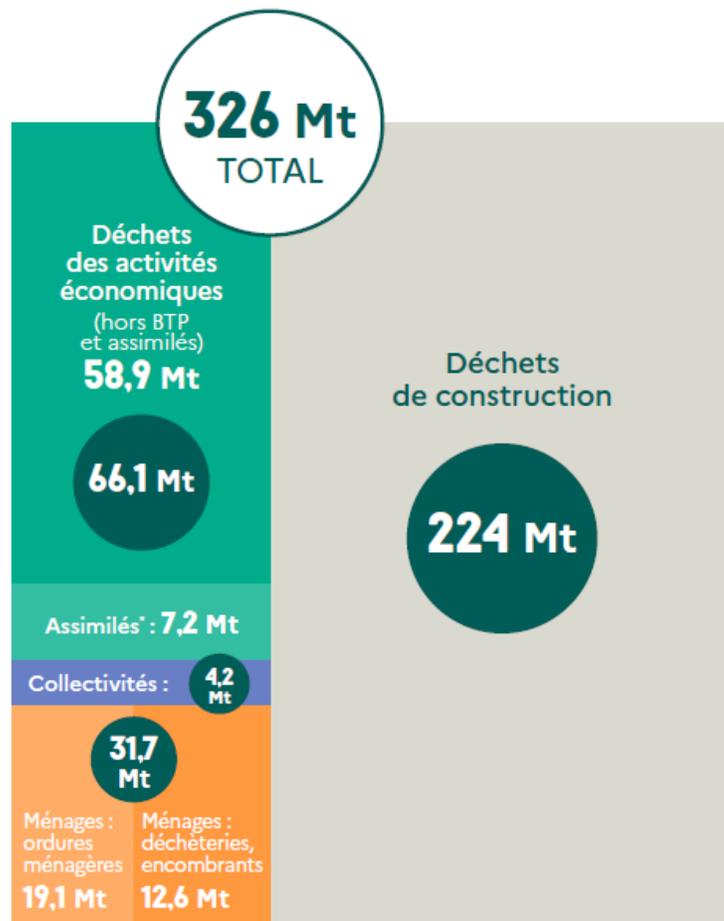
Démarche de l'étude

Caractérisation et formulation

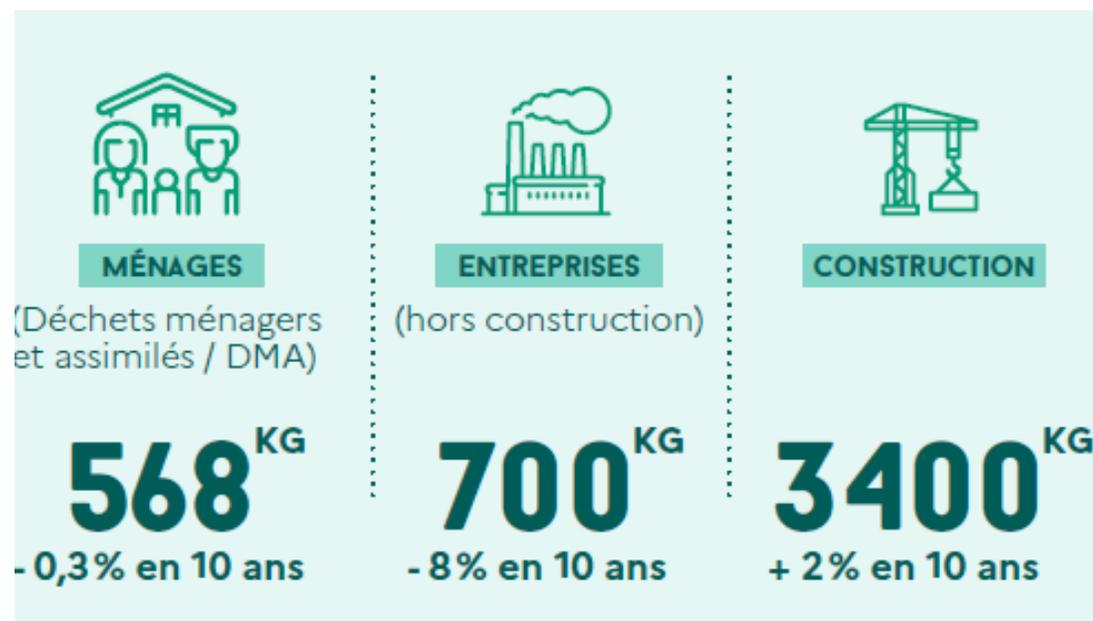
Résultats

Conclusion et perspectives

La production de déchets en France



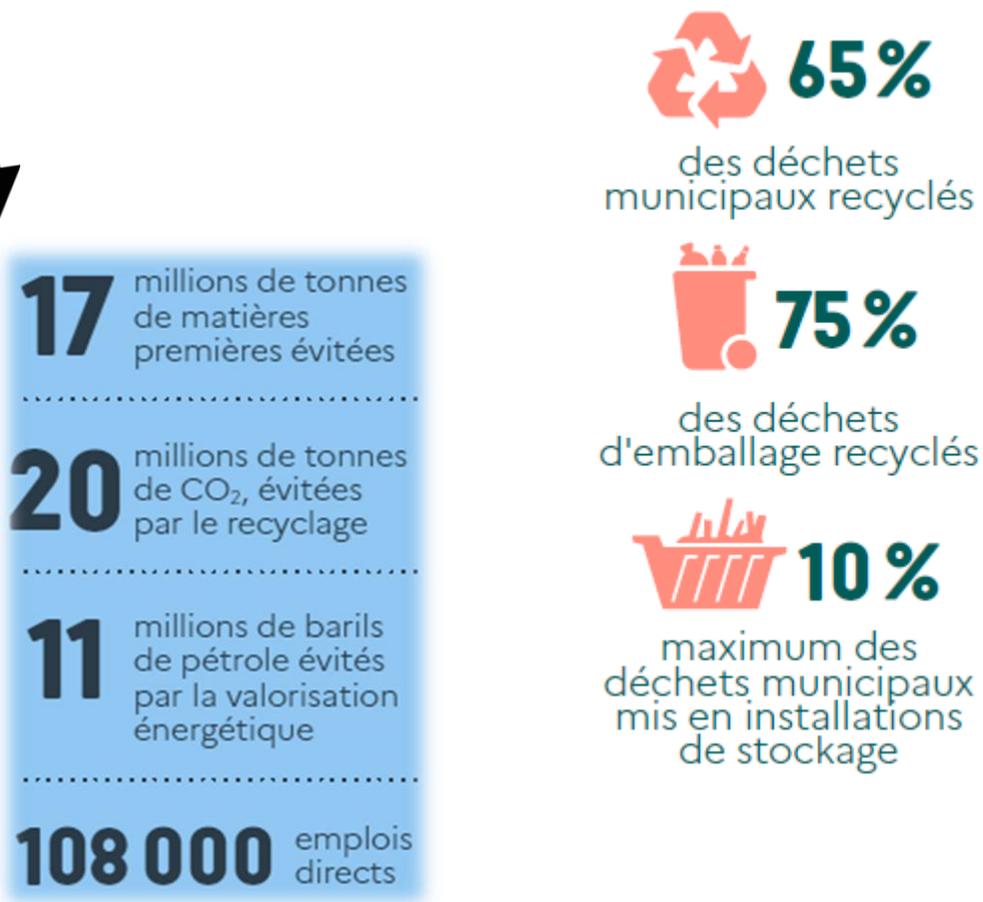
en 2016, nous avons produit
4,6 tonnes de déchets par habitant



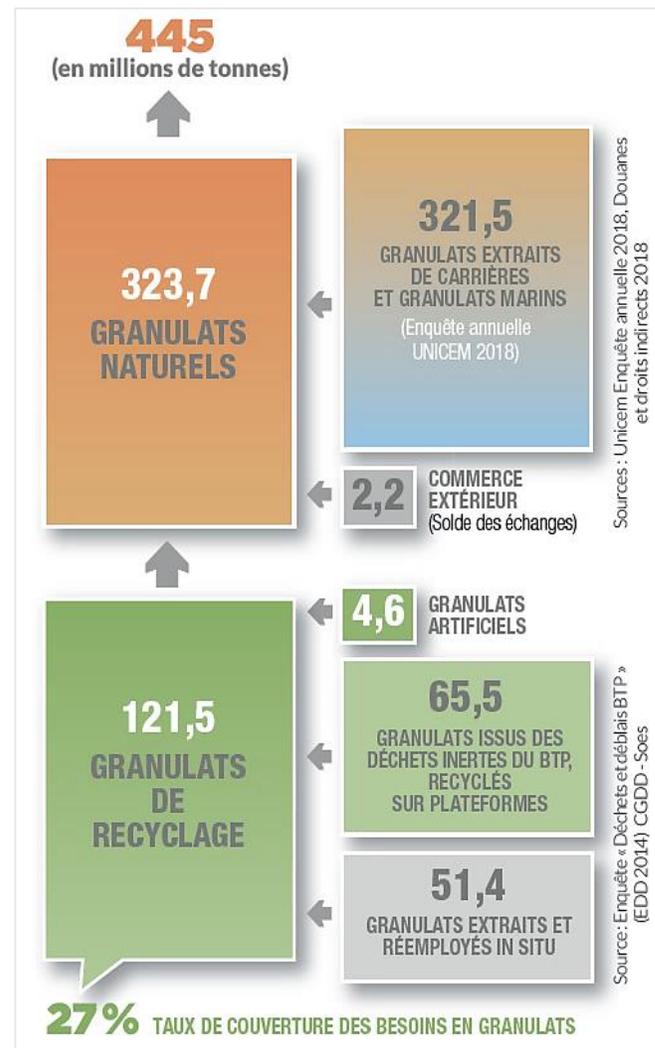
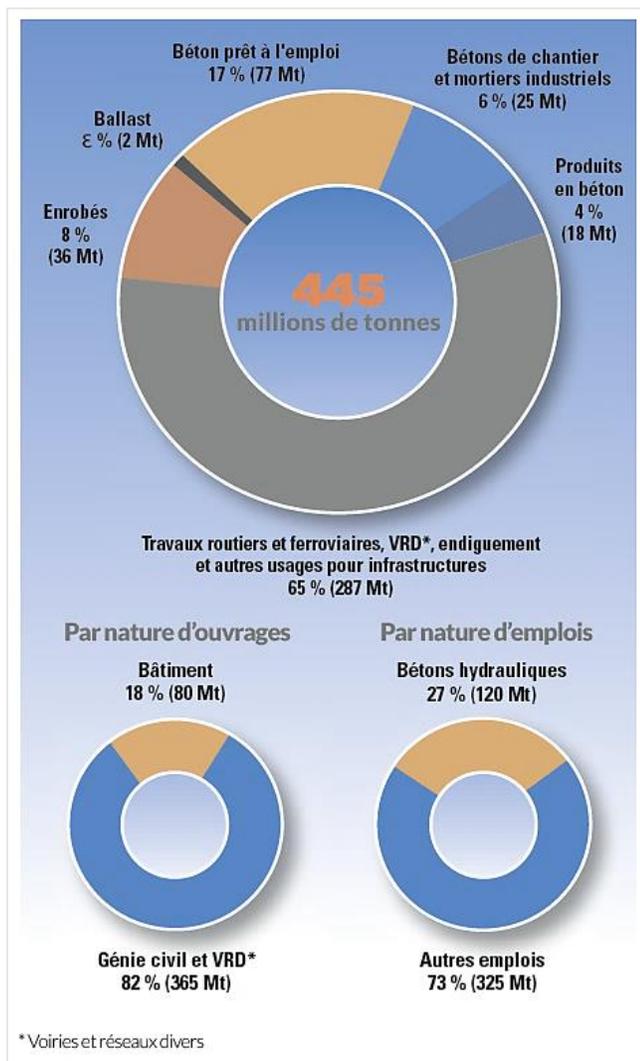
les déchets, une ressource pour l'industrie française



Le paquet économie circulaire de la Commission européenne

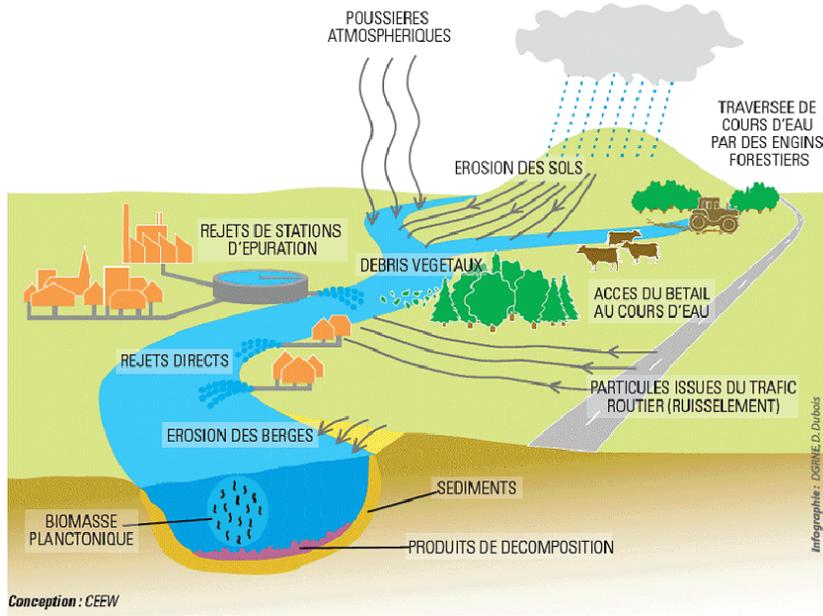


Utilisation des granulats en France



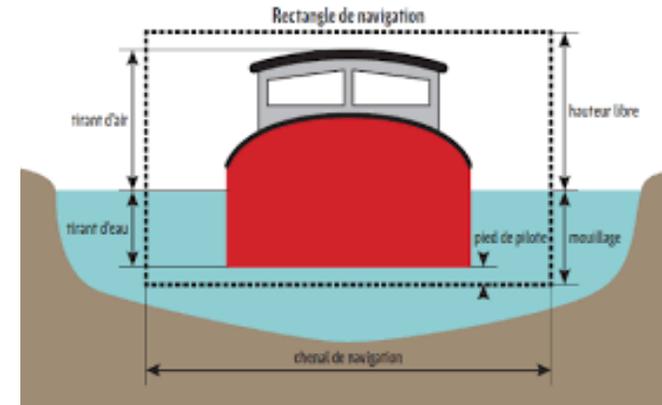
Origine des sédiments

Origine des matières en suspension et des sédiments dans l'environnement aquatique



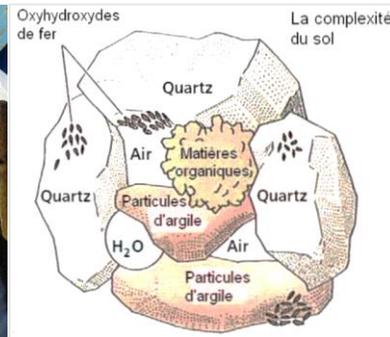
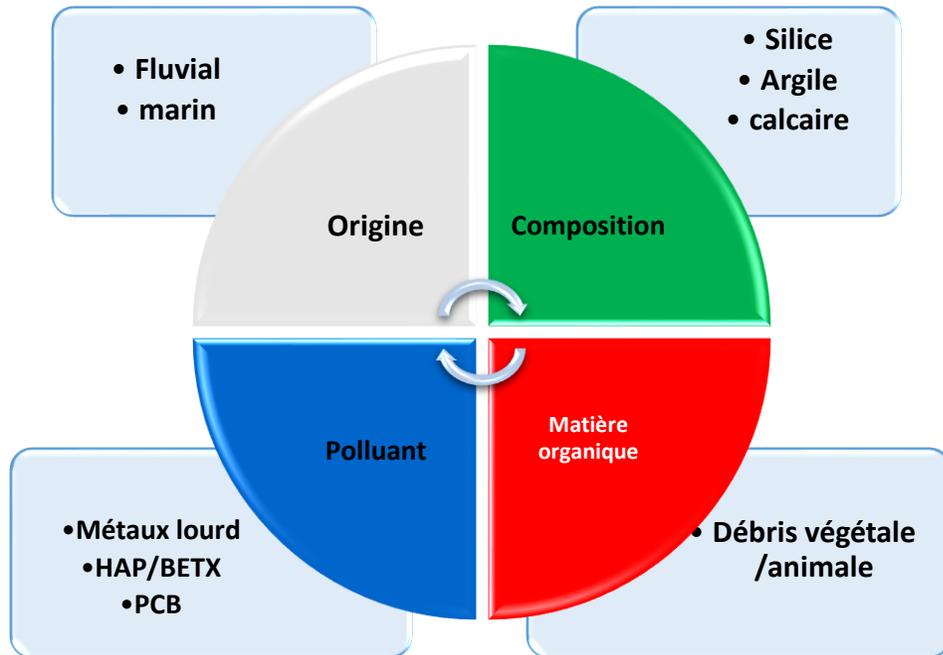
- Envasement des voies navigables
- Risque d'inondation
- Difficulté de stationnement marin
- Perturbation de l'écosystème

Opération de dragage



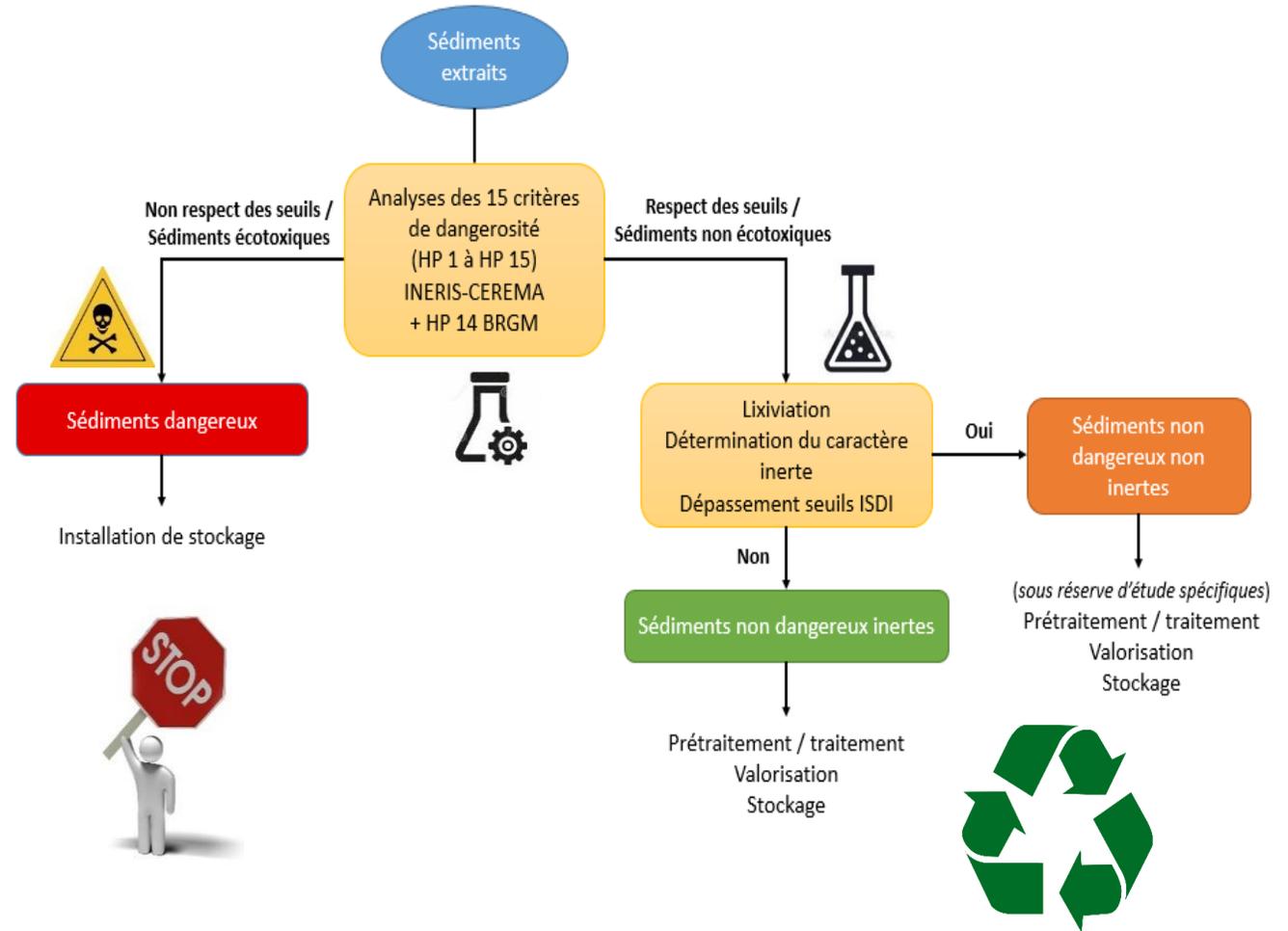
+ de 50 Mm³ en France
 ➔ + de 300 Mm³ en Europe

Le sédiment est caractérisé essentiellement par :



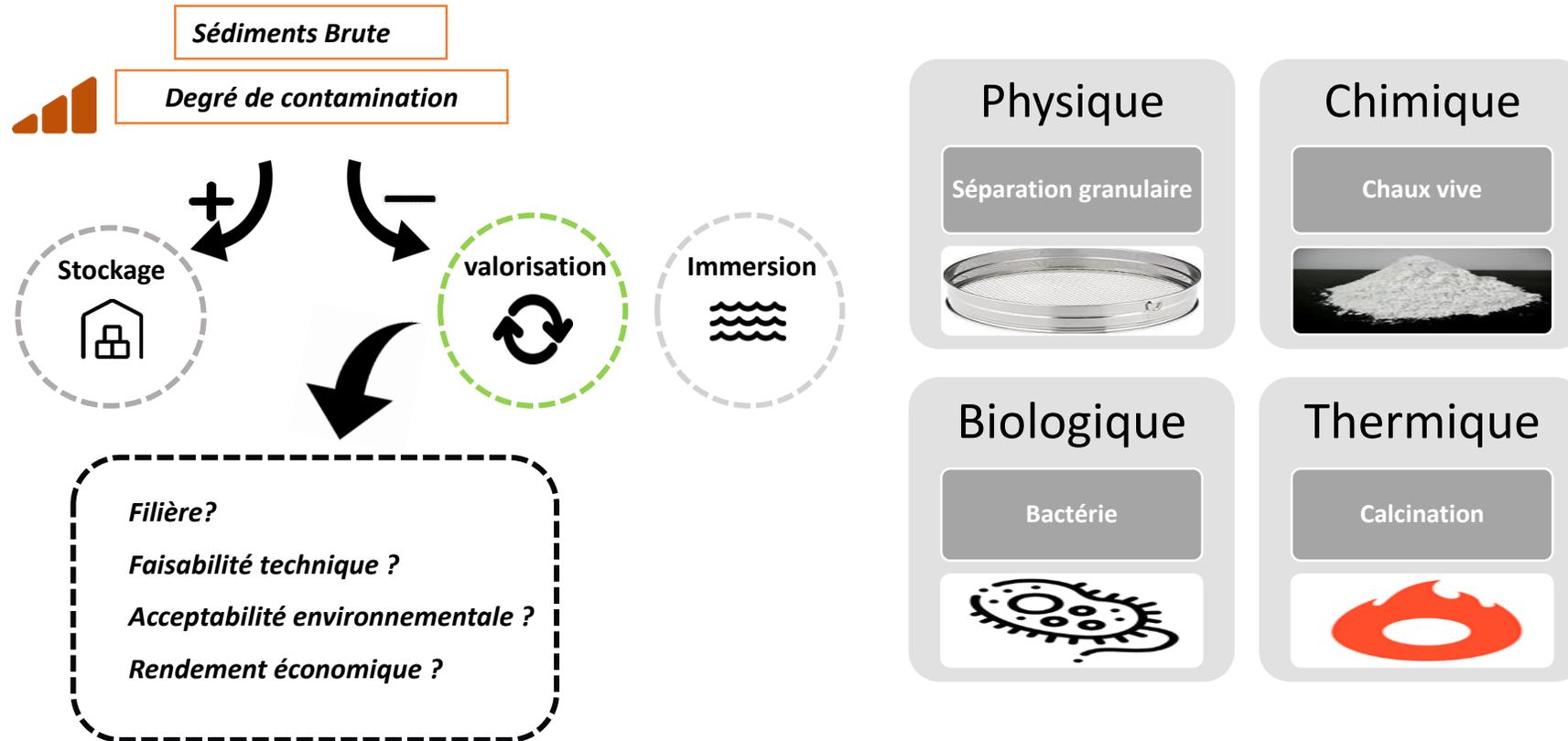
Sédiment de dragage apparence et composition

Classification chimique des sédiments





Gestion et traitement des sédiment



Filières potentielles de valorisation des sédiments dans le génie civil

Application Antérieur



- Granulats artificielle



- Bloc de béton



- Brique



- chaussé



- Digue de protection

Application Envisager



**Asphalte
d'étanchéité (Coulé)**



Asphalte d'étanchéité (Coulé)

Définition de l'asphalte coulé

L'ASPHALTE EST UN MATÉRIAU INCONTOURNABLE, CONNU ET UTILISÉ DEPUIS 5 000 ANS

L'asphalte traditionnel (naturel) est obtenu à partir du minerai d'asphalte réduit en poudre calibrée et d'un "bitume d'ajout", auquel l'on incorpore un squelette minéral constitué de sable et de gravillons dans des proportions spécifiques au type d'asphalte à obtenir.

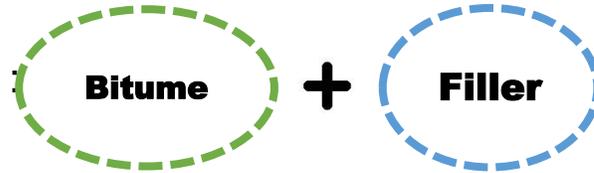


L'asphalte synthétique est obtenu à partir de bitume de distillation, de filler et de fines qui constituent le mastic d'asphalte, auquel est incorporé, comme pour l'asphalte naturel, un squelette minéral constitué de sable et de gravillons dans des proportions adaptées au type d'asphalte recherché.



Composition de l'asphaltes d'étanchéités (Coulé)

- Le mastic d'asphalte :



- un squelette minéral utilisant des sables et gravillons (porphyre) en proportions variables.



Avantages :

- ✓ ne comporte pas de vides
- ✓ imperméable
- ✓ pas de compactage.
- ✓ Apparence et finition spéciale
- ✓ Réparations ponctuelles
- ✓ Écologique

Type d'asphaltes d'étanchéités (Coulé)

- Asphaltes pour parties courantes de **pentés $\leq 3\%$** :

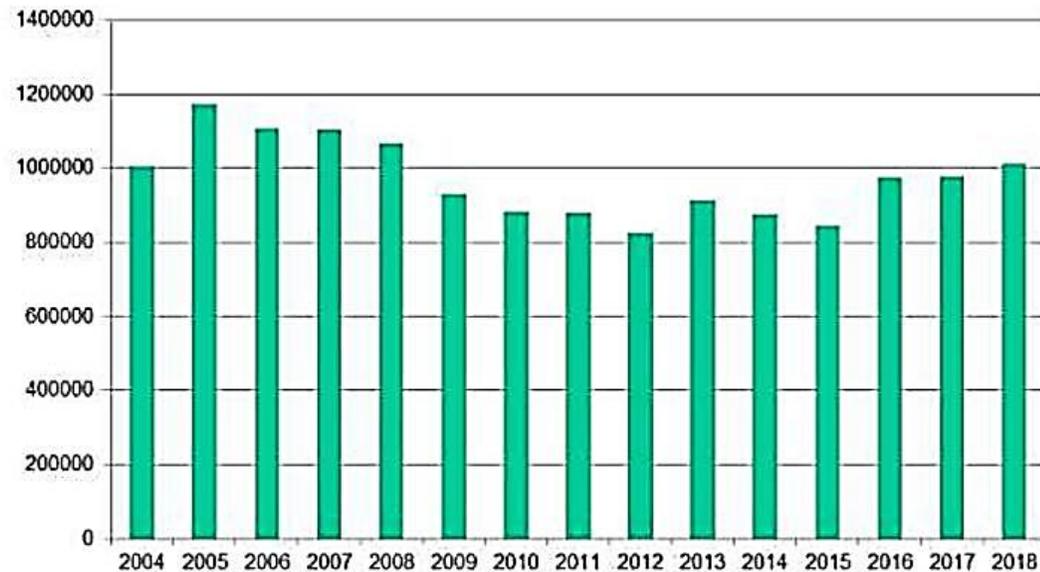
- **Asphalte pur** (mélange à chaud de filler / fines de sable et de bitume) :
- **Asphalte sablé** (mélange à chaud de filler et de bitume et de sable) :
- **Asphalte gravillonné** (qui contient une proportion assez importante de gravillons) :

- Asphaltes pour rampes (parties courantes de **pente comprise entre 3 % et 15 %**) :

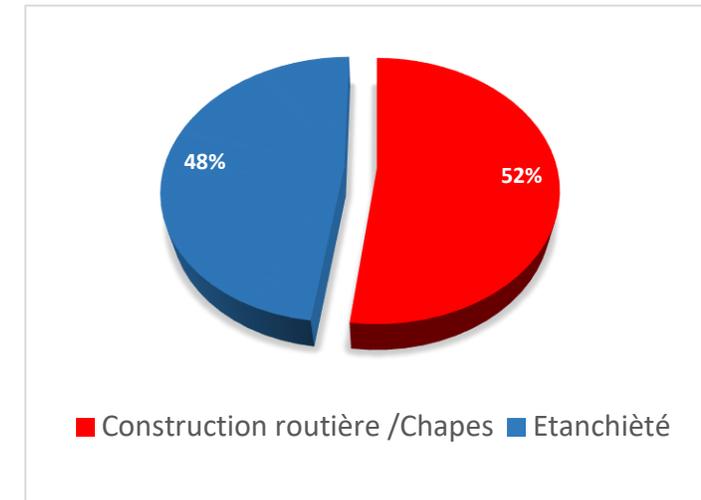
- AG4 : qualité travaux étanchéité rampe (grade dur, résistant au fluage et au trafic).



Historique et niveaux de production



Domaines d'application de l'asphalte coulé pour l'année de référence 2019



Les principaux marchés européens sont l'Allemagne et la France. L'asphalte coulé n'est pratiquement pas utilisé aux États-Unis. Récemment, les marchés de l'asphalte coulé en Asie ont commencé à se développer. Les entreprises chinoises sont devenues membres de l'IMAA en 2014, 2015 et 2018.

Applications d'asphaltes d'étanchéités (Coulé)



Tablier du pont



Sol industrielle



Chaussé



Parking



Réservoir



Piste Cyclable



Réparation



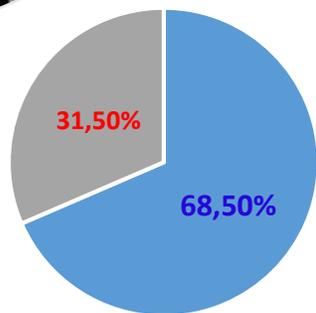
Trottoir

Démarche de l'étude

Composition de l'asphalte coulé



Taux de Substitution



- minimum Filler calcaire
- maximum sédiment

Substitution de filler sédiment

Filler sédiment



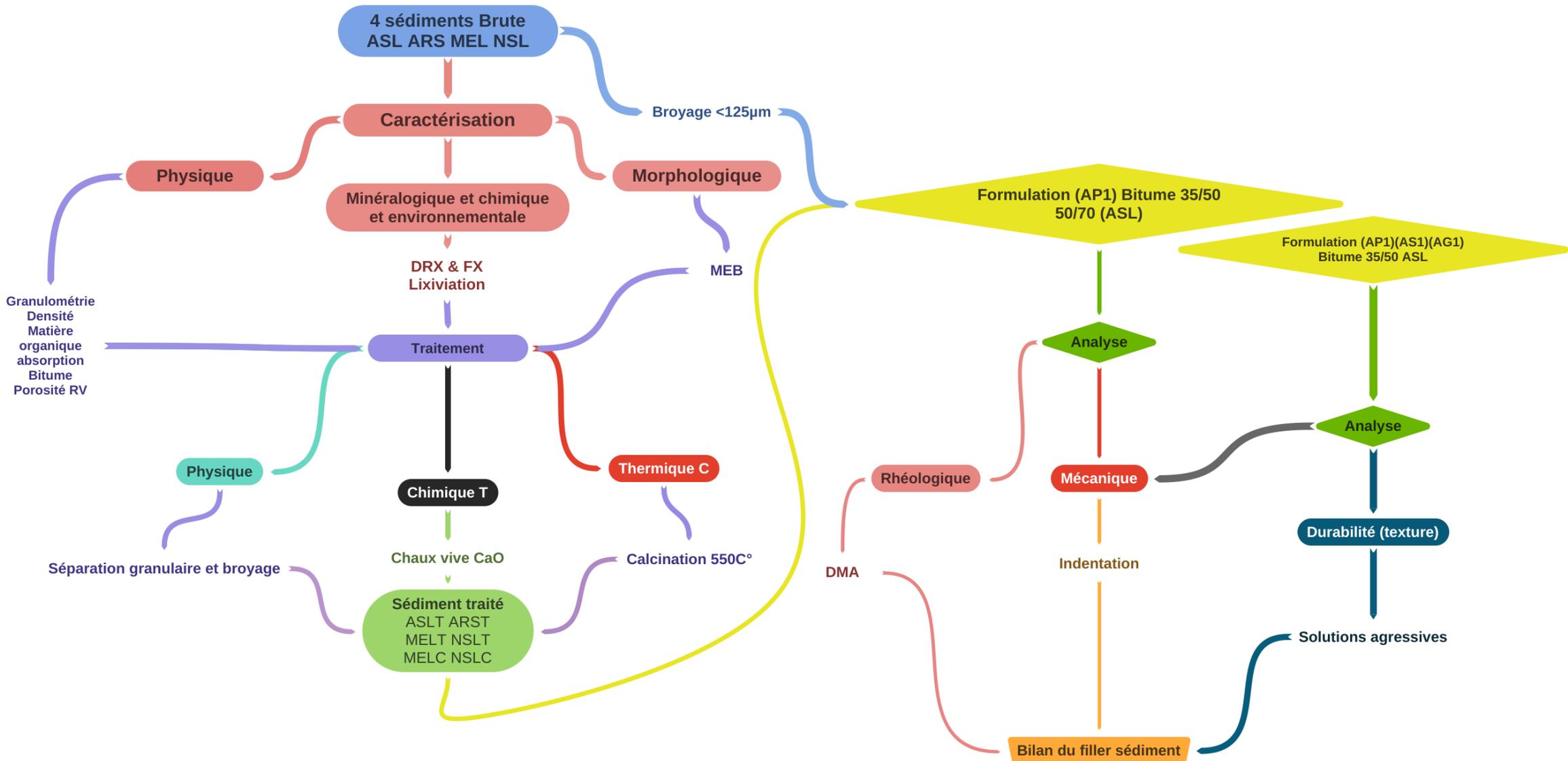
Sédiment Brut



FA048505	ISBN 0330-3811
norme européenne	NF EN 12970
norme française	Décembre 2000
	Indice de classement : P 84-317
	IC S : 75.140 ; 91.100.50
Asphalte coulé pour étanchéité	
Définitions, spécifications et méthodes d'essai	
E : Mastic asphalt for waterproofing — Definitions, requirements and test methods D : Quasphalt und Asphaltmastic für Abdichtungen — Definitionen, Anforderungen und Prüfverfahren	
Norme française homologuée	
par décision du Directeur Général d'AFNOR le 5 novembre 2000 pour prendre effet le 5 décembre 2000. Remplace la norme homologuée NF P 84-305, de décembre 1977.	
Correspondance	La Norme européenne EN 12970:2000 a le statut d'une norme française.
Analyse	Le présent document définit les asphaltes coulés pour revêtements d'étanchéité et fixe ses caractéristiques. Les essais qui doivent être appliqués pour vérifier ces caractéristiques et les recommandations concernant la fabrication et le transport du matériau.
Descripteurs	Thésaurus International Technique : asphalte, produit bitumineux, matériau d'étanchéité, revêtement, déviation, classification, composant, mastic, bitume, granulats, calcaire, composition, essai, fabrication, mélange, stabilité dimensionnelle.
Modifications	Par rapport au document remplacé, révision technique.
Corrections	
Édité et diffusé par l'Association Française de Normalisation (AFNOR), Tour Europe 13248 Paris La Défense Cedex Tel.: 01 42 91 50 50 - Tél. international: + 33 1 42 91 50 50	
© AFNOR 2000	AFNOR 2000 1 ^{er} tirage 2000-12 F

OFFICE DES ASPHALTES
CAHIER DES CHARGES
FASCICULE 10
Edition mai 2020
CAHIER DES PRESCRIPTIONS ADMINISTRATIVES ET TECHNIQUES COMMUNES AUX ASPHALTES COULÉS
9, rue de Berni - 75008 PARIS Tél.: 01 44 13 32 00 - E-mail: info@asphaltes.org - WEB: www.asphaltes.org

Méthodologie



Caractérisation des sédiments

Site de prélèvement

Les sédiments utilisés dans cette étude proviennent des canaux du Nord de la France (Nord-Pas-de-Calais), les zones de dragage sont les suivant :

- Noyelles-sous-Lens (NSL)
- Aire-sur-la-Lys (ASL)
- Métropole Européenne de Lille (MEL)
- Communauté Urbaine d'Arras (ARS)



- **Protocole d'échantillonnage:** Echantillonnage par quartage



Homogénéisation de chaque échantillon sélectionné



À l'aide d'une pelle, formation de 4 tas de forme régulière

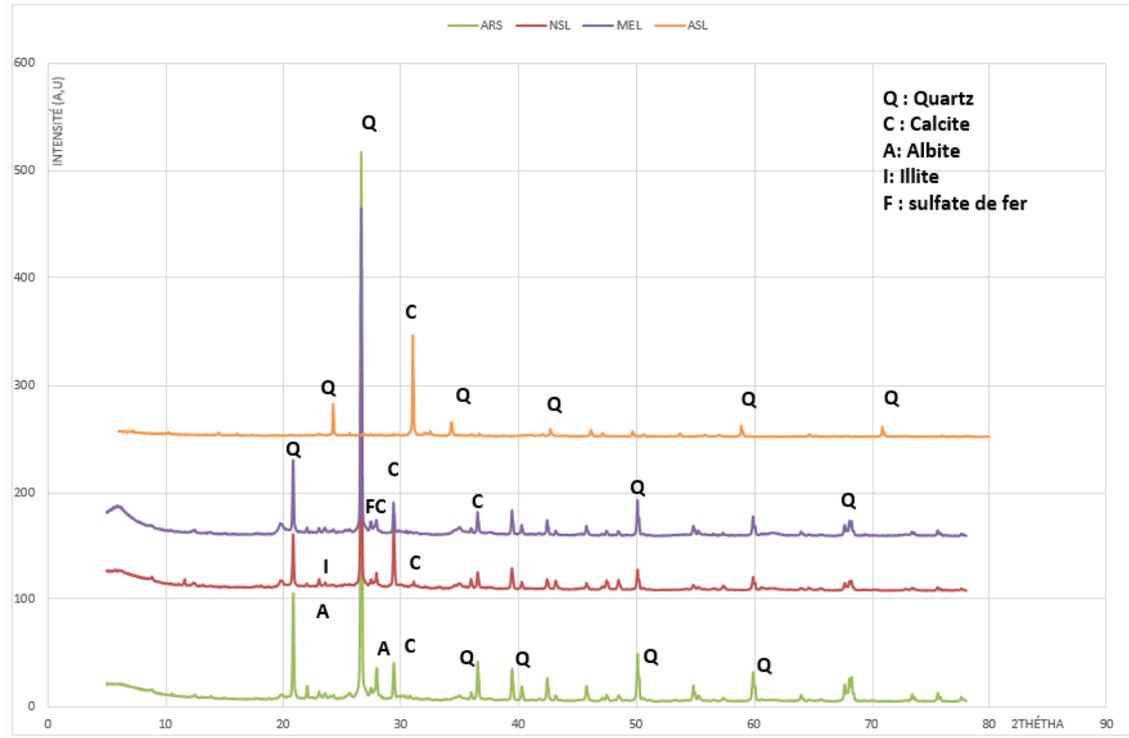


Mélange des deux quarts opposés

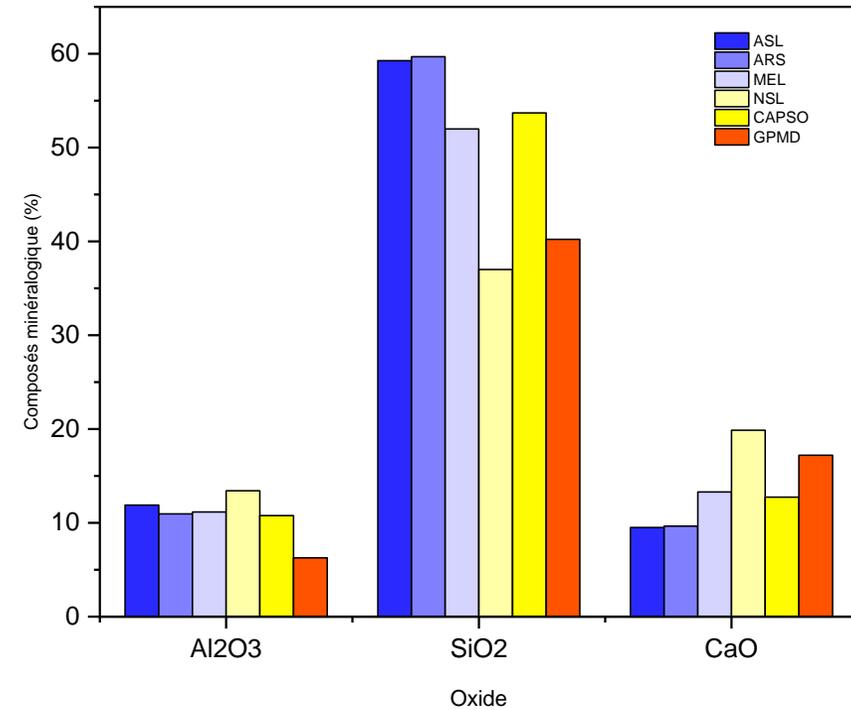


Stockage les sédiment dans des futs hermétiques

- Analyse minéralogique (DRX) et chimiques (FX)



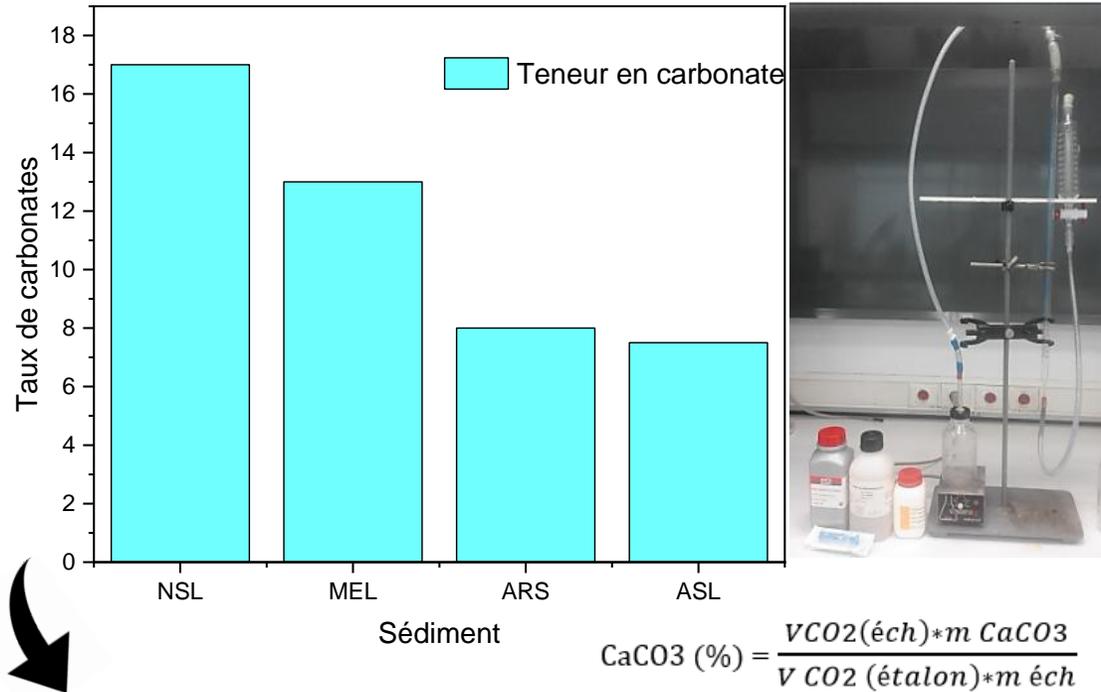
- Les sédiments sont composés principalement de quartz (SiO_2) et de calcite (CaCO_3)



Oxyde	NSL	ASL	ARS	MEL	LS
Al_2O_3	13,42	11,9	10,96	11,15	0.14
SiO_2	37,01	59,26	59,68	51,98	0.47
CaO	19,87	9,51	9,65	13,29	98,33

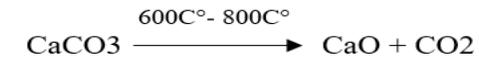
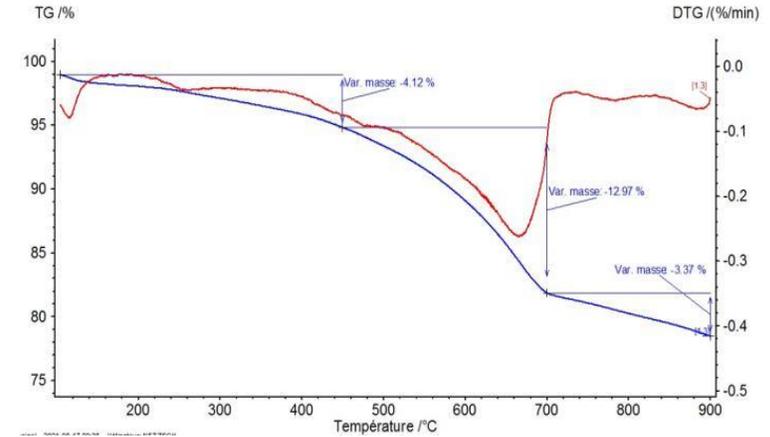
• Taux en carbonates

1- calcimètre de Bernard

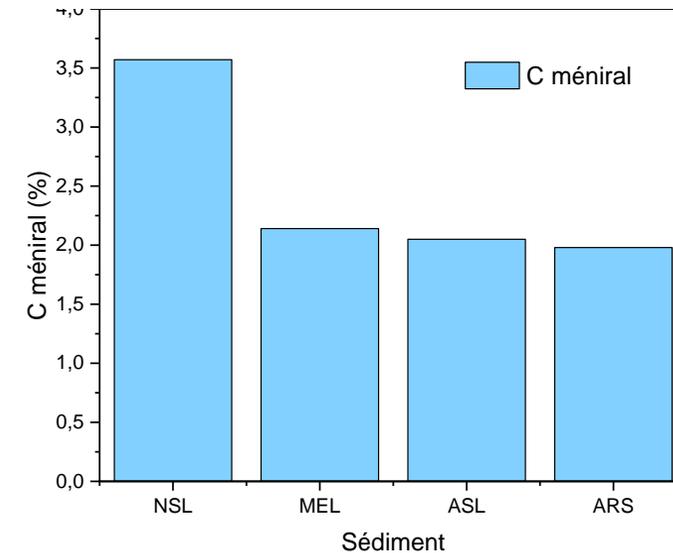


- ASL et ARS classé non calcaire « sableux siliceux »
- MEL NSL classé peu calcaire « Marneux »

2- L'analyse Thermo gravimétrique (ATG)



$$C_{\text{minérale}} (\%) = \frac{12 (\text{masse molaire de C en g/mol})}{44 (\text{masse molaire de CO}_2 \text{ en g/mol})} * m (\text{Perte de masse en } \%)$$



Principales caractéristiques physiques des sédiments

Classe	Granulométrie	Pourcentage pondérale (%)			
		ASL	ARS	MEL	NSL
Argile	De 0 à 2 μ m	7,76	6,41	9,74	8,04
Limons	De 2 à 63 μ m	75,33	78,6	72,74	77,07
Sable	> à 63 μ m	16,91	14,99	17,52	14,89

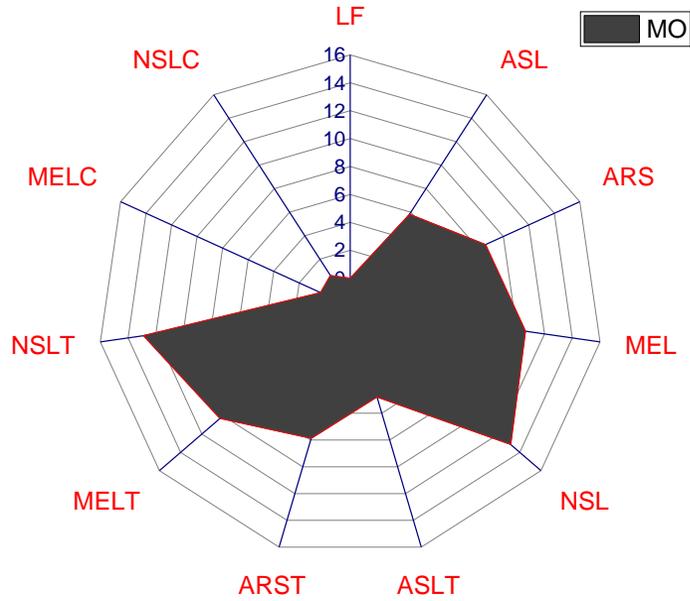
Filler Sédiment	Densité (g/cm ³)	SS-Blaine (cm ² /g)	PH	OM (%)	LOI (%)	MBV (g/kg)	W (%)
ASL	2,61	2642	7,1	5,82	7,96	2,1	2,08
ARS	2,53	2373	7,41	9,61	11,14	1,6	2,78
MEL	2,45	2800	6,86	10,63	11,56	1,4	2,16
NSL	2,39	2713	6,63	13,15	14,93	1,7	2,45
F calcaire	2,79	2289	10	0,07	-	0,89	0,07



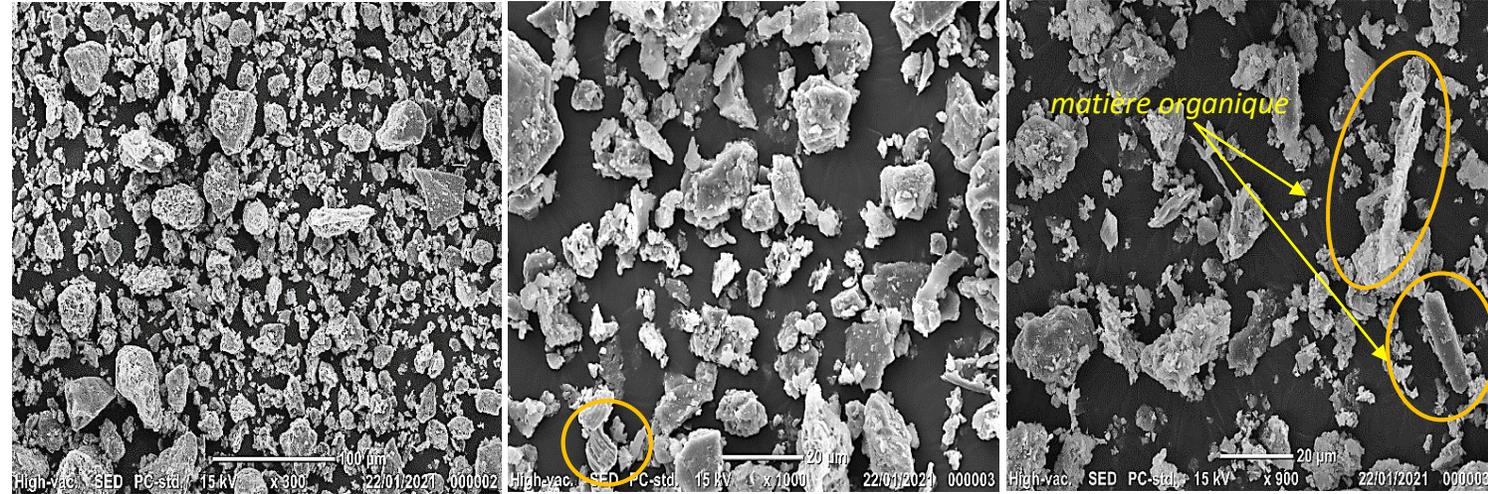
Apparence visuel de la matière organique des sédiments

- *La teneur en eau calculée après séchage à l'extérieur*
- *Les sédiments NSL (13,15 %) et MEL (10,63 %) les plus organique*
- *Relativement les sédiments MEL et NSL , sont acide*
- Les sédiments présentent une argilosité comprise entre 1.4 et 2.1 g/100g donc peuvent être classé comme étant sols limoneux.
- Les sédiment ont une granulométrie fins avec une densité >2,39 g/cm³
- Le sédiment ASL à les caractéristique les plus proche que celle de filler calcaire

Teneur de la matière organique (Calcination)



Morphologie des sédiments brute et calcinées

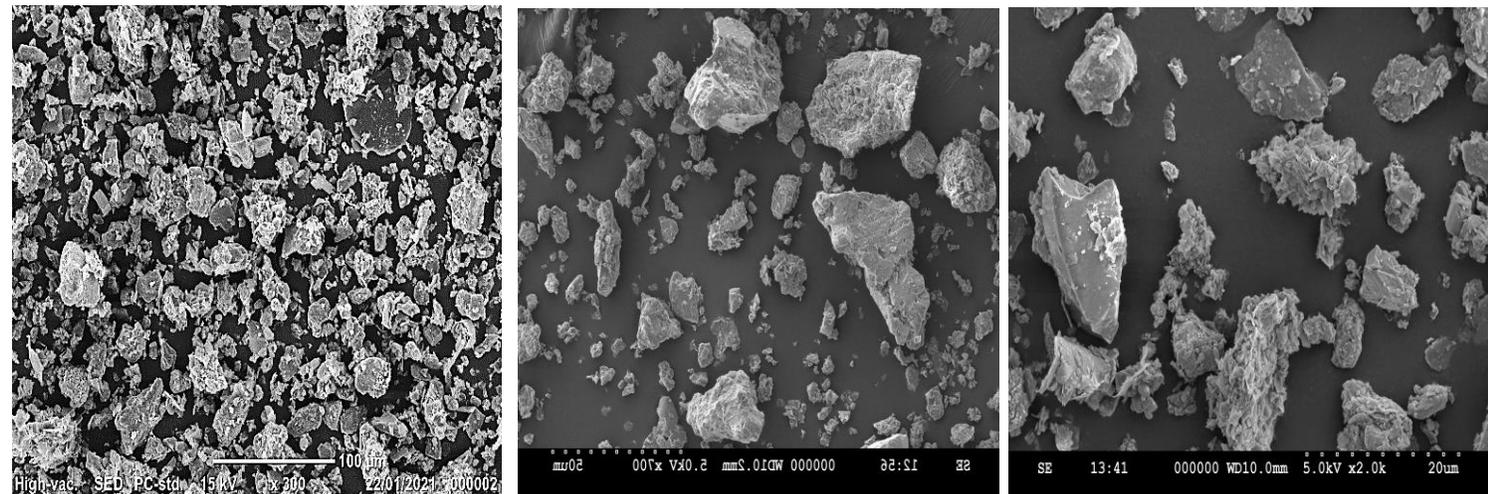


ASL

MEL

NSL

Teneur de la matière organique (Flottement)



ARS

MEL.C

NSL.C

Traitement des sédiments

Physique

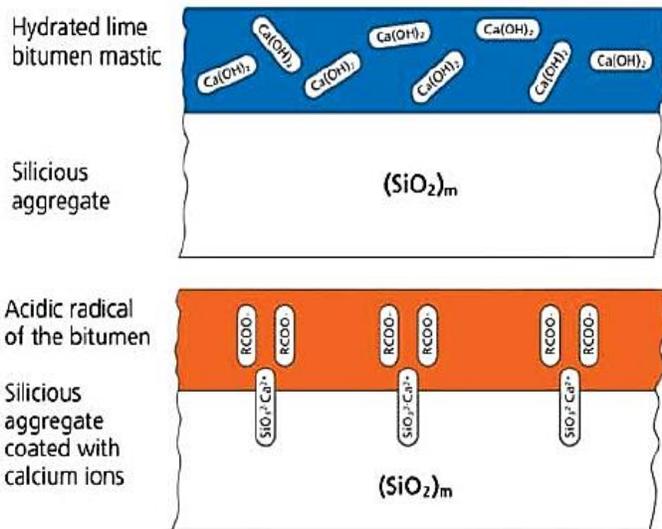
- Criblage Broyage
- 125 μ m

Chimique

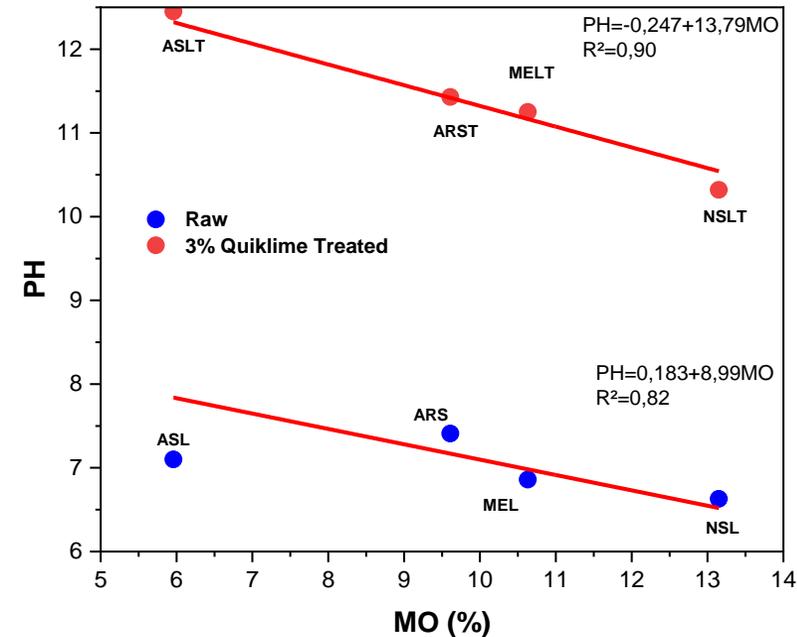
- Chaux vive
- 3%

Thermique

- Calcination
- 550C°



Corrélation PH -MO



- Une corrélation importante entre la MO et PH $R^2=0,90$ & $0,82$
- Relativement plus les sédiments sont organique plus le PH est faible
- L'alcalinité du filler est recommandé afin de créer de fortes liaisons
- avec le bitume qui est de nature relativement acide

Echange cationique: L'ajout de chaux au sédiment provoque une modification de la qualité des matériaux argileux par échanges des cations alcalins (K^+ , Na^+) par des cations Ca^{2+} provenant de la chaux

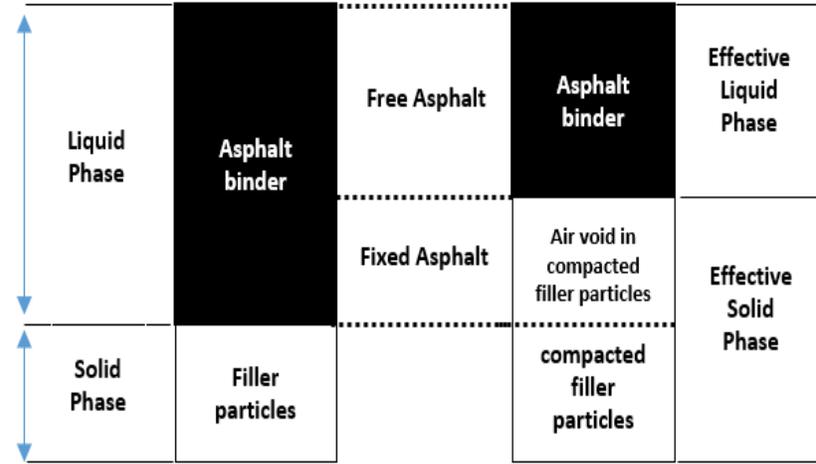
Caractérisation environnementale des sédiments

Résultats de Test lixiviation

Paramètre	Unité	ISDI	ISDND	ISDD	CAPS O	CU-Arras	ASL	MEL	NSL	GPMD
Métaux lourds sur éluats en (mg/kg de matière sèche)										
antimoine	mg/kg MS	0,06	0,7	5	0,18	-	<0,03	0,14	0,09	0,0664
arsenic	mg/kg MS	0,5	2	25	0,07	<0,04	0,34	0,05	<0,05	<0,08
baryum	mg/kg MS	20	100	300	0,25	1,04	0,35	0,35	0,43	0,3701
cadmium	mg/kg MS	0,04	1	5	<0,04	0,01	0,01	0,004	0,01	<0,008
chrome	mg/kg MS	0,5	10	70	<0,01	0,02	0,365	0,012	<0,01	<0,03
cuivre	mg/kg MS	2	50	100	<0,05	<0,05	0,37	0,4	0,28	0,1919
mercure	mg/kg MS	0,01	0,2	2	<0,01	<0,0005	0,11	0,01	<0,01	0,004
plomb	mg/kg MS	0,5	10	50	<0,1	<0,1	0,49	0,1	<0,1	<0,03
molybdène	mg/kg MS	0,5	10	30	0,097	0,05	0,049	0,063	0,11	0,6178
nickel	mg/kg MS	0,4	10	40	<0,1	0,02	0,16	0,1	0,13	<0,03
sélénium	mg/kg MS	0,1	0,5	7	<0,06	<0,039	0,022	0,039	0,05	<0,07
zinc	mg/kg MS	4	50	200	<0,2	0,09	1,85	0,21	1,2	<0,06
Autre paramètre sur éluats										
COT	mg/kg MS	500	800	1000	95	82	47	94	94	47
Indice phénol	mg/kg MS	1	10	1000	<0,1	<0,1	-	<0,1	<0,1	0,01
chlorures	mg/kg MS	800	15000	25000	30	42	55,46	24	20	14900
sulfate	mg/kg MS	1000	20 000		974	930	552,3	554	5350	12580

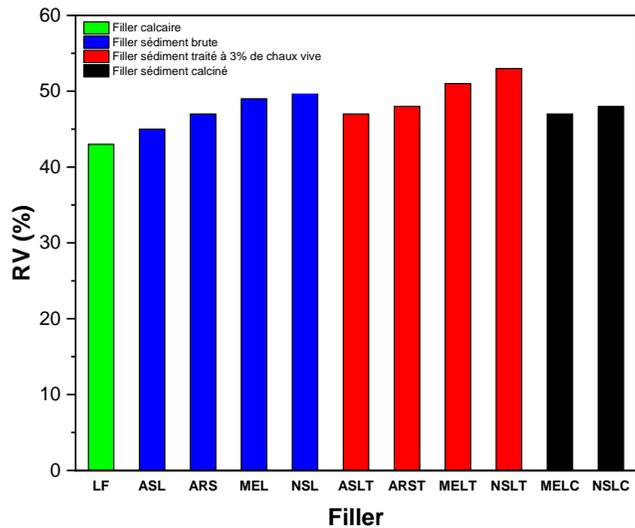
➤ le sédiment ASL le seul qui présente le caractère **Non Dangereux Inerte**

Appareil Rigden

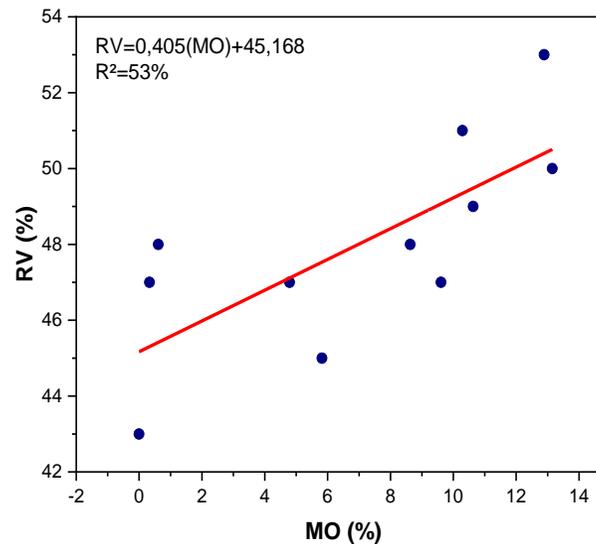


By: Ahmed F. Faheem, Hussain U Bahía University of Wisconsin- Madison

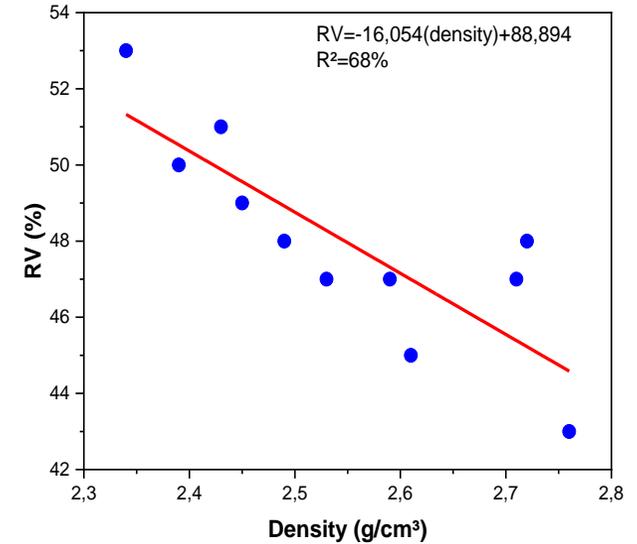
Porosité intergranulaire des fillers (RV)



Corrélation RV -MO



Corrélation Densité -MO

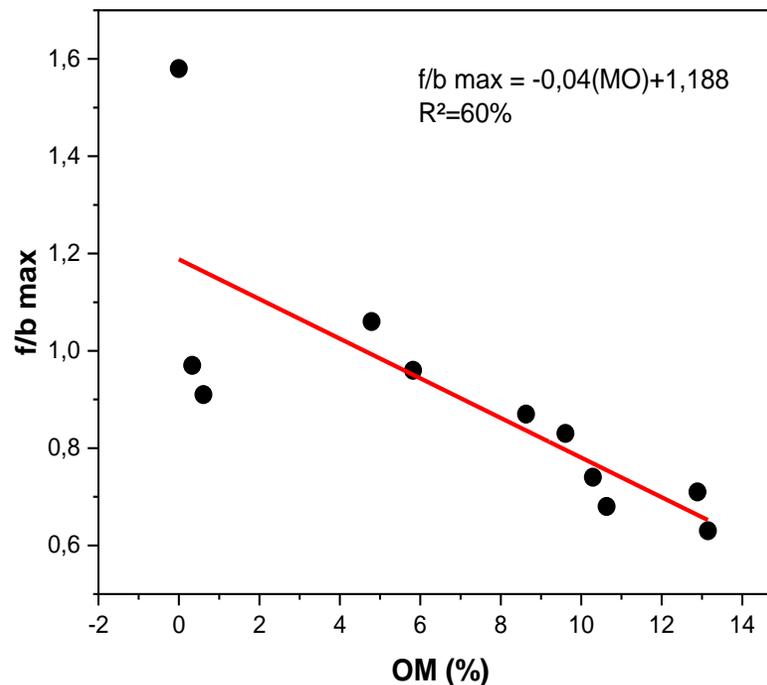
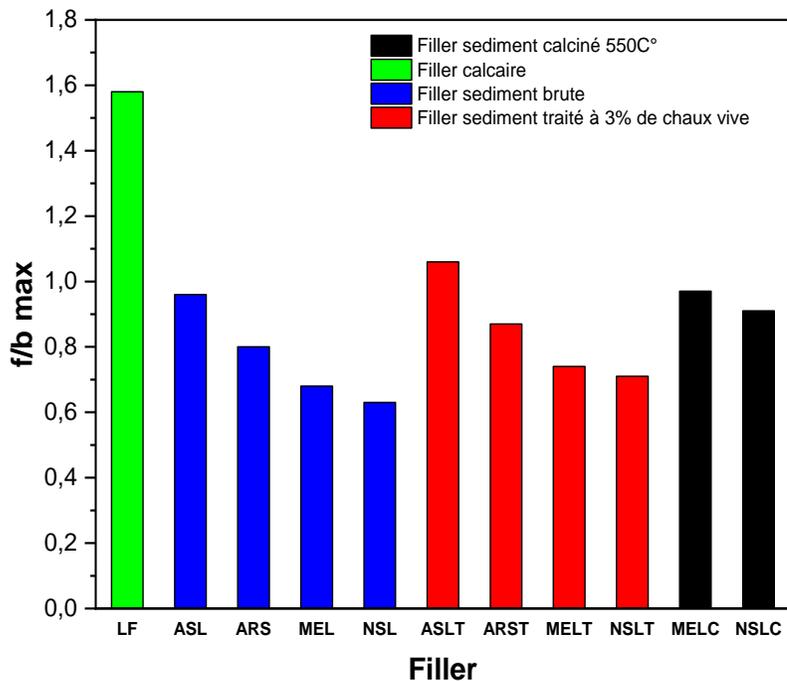


Pouvoir absorbant des fillers



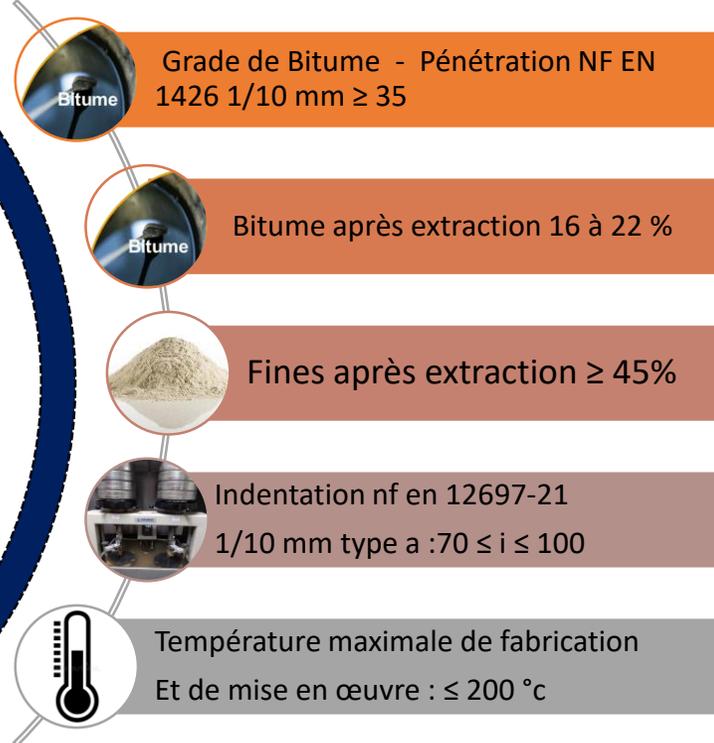
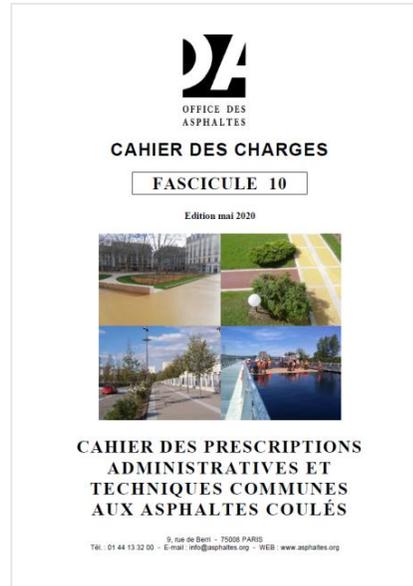
$$P.A = \alpha \cdot m \quad \alpha = \frac{2.65}{MVR_f}$$

$$f/b_{max} = \frac{\rho_b \cdot PA}{15 \cdot 2.65}$$



- *Le f/b max du filler calcaire est plus important environ 1,6*
- *Une légère amélioration de f/b max des sédiment traité à la chaux*
- *Une augmentation remarquable du f/b max des sédiment calciné*

Cahier des charges

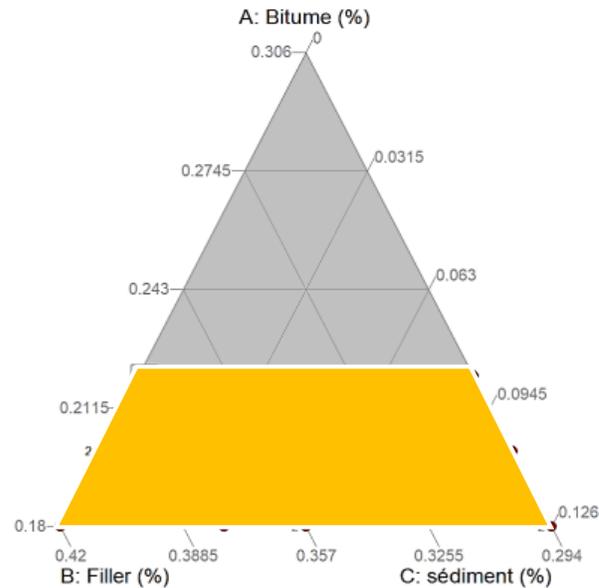


Formulation de l'asphalte coulé (AP1)



Plans de mélange - Domaine expérimentale -

Composant	Name	Units	Type	Minimum	Maximum
A	Bitume	%	Mixture	0.18	0.22
B	Filler	%	Mixture	0.294	0.42
C	sédiment	%	Mixture	0	0.126
D	sable	%	Mixture	0.4	0.4
Total =				1.00	



Domaine expérimentale

Formulations proposés par le plan de mélange

Mélange	Bitume (%)	Filler calcaire (%)	Sédiment (%)	Séd/Filler total (%)	Sable (%)
M1	18	35,7	6,3	15	40
M2	18	29,4	12,6	30	40
M3	18	37,8	4,2	10	40
M4	22	29,4	8,6	23	40
M5	21	32,05	6,95	18	40
M6	20	36,47	2,87	7	40
M7	20	29,4	10,6	27	40
M8	22	33,7	4,3	11	40

Mélange référence	Bitume (%)	Filler(%)	Sédiment(%)	Sable(%)
R2	18	42	0	40
R1	20	40	0	40
R3	22	38	0	40

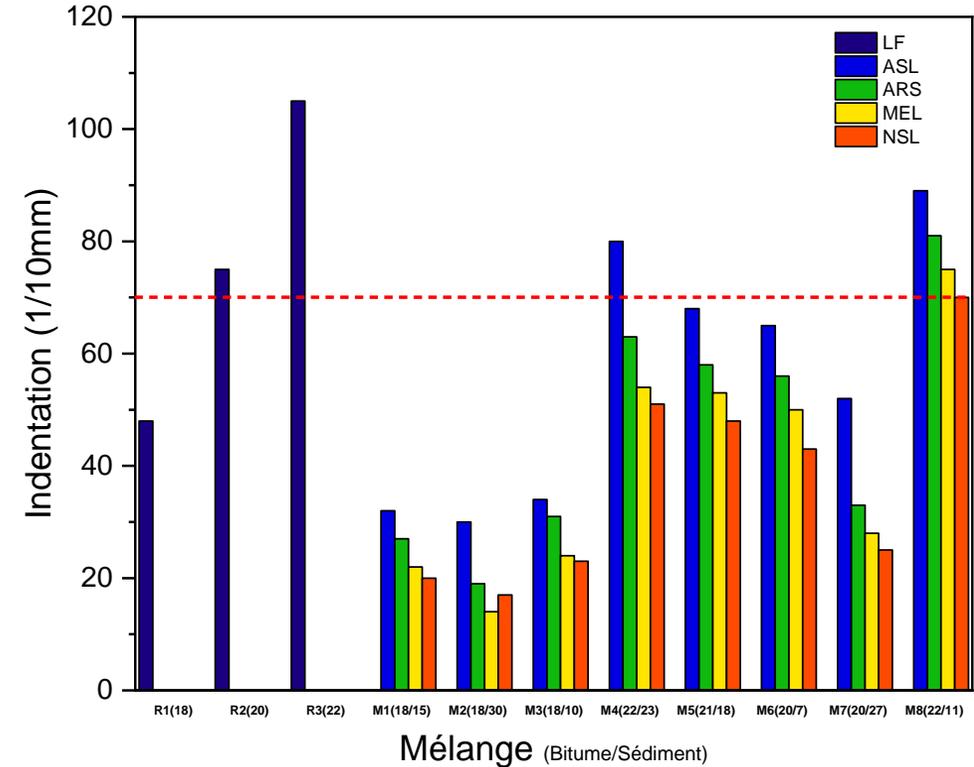
Résultats indentation de l'asphalte coulé (AP1)

Mélange	Résistance à la déformation par indentation (1/10mm)									
	ASL	ASLT	ARS	ARST	MEL	MELT	NSL	NSLT	MELC	NSLC
M1	32	35	27	30	22	26	20	26	35	30
M2	30	32	19	21	14	19	17	19	28	24
M3	34	40	31	36	24	27	23	25	31	27
M4	80	93	63	75	54	63	51	61	87	77
M5	68	75	58	70	53	59	48	52	70	62
M6	65	69	56	68	50	55	43	47	66	59
M7	52	55	33	39	28	33	25	29	44	34
M8	89	98	81	88	75	80	70	74	97	90

Mélange référence	Bitume	Filler	sédiment	sable	Indentation (1/10mm)
R2	18,00%	42,00%	0,00%	40,00%	48
R1	20,00%	40,00%	0,00%	40,00%	75
R3	22,00%	38,00%	0,00%	40,00%	105

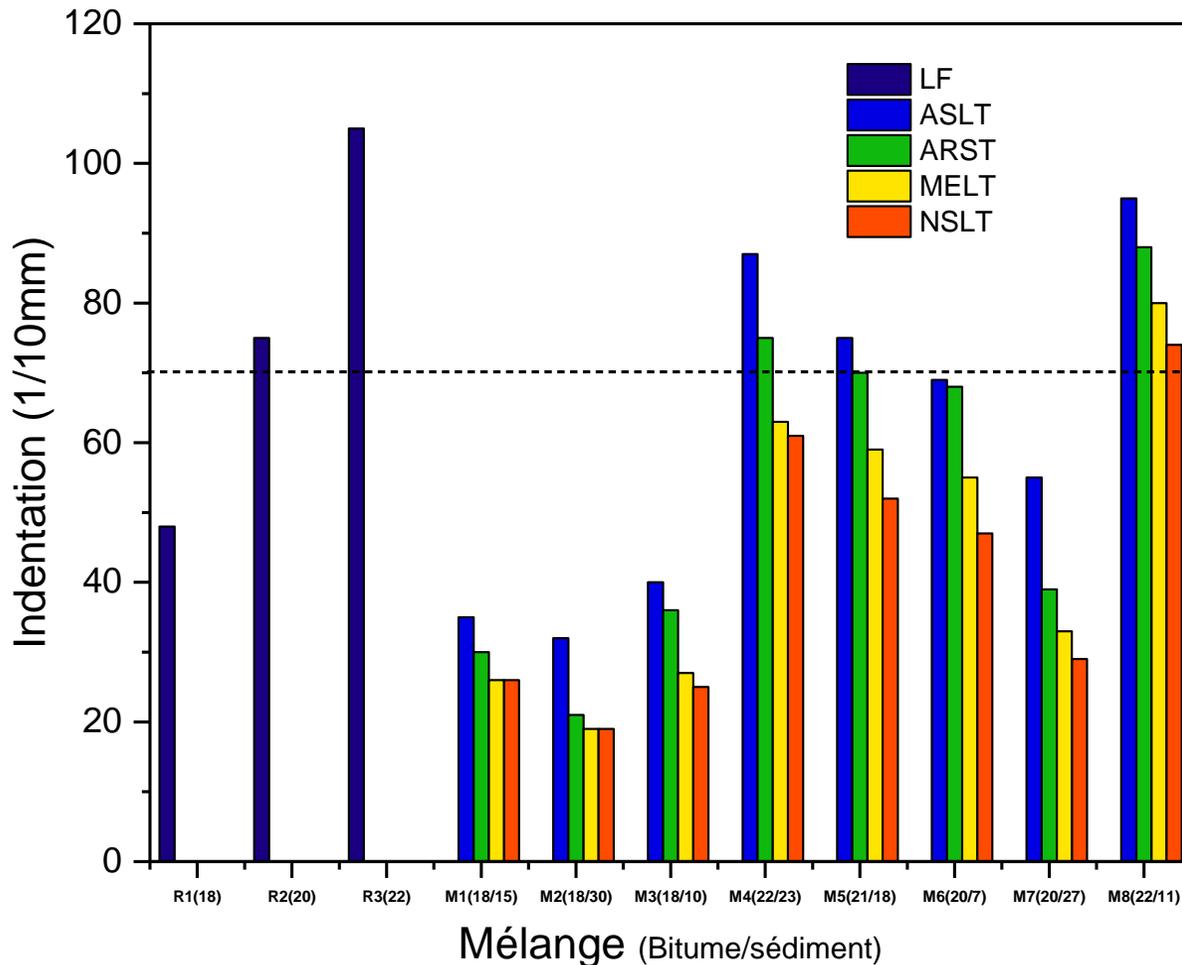
INDENTATION NF EN 12697-21 1/10 mm Type A :
 $70 \leq I \leq 100$

Résultats de l'indentation de Asphalte coulé (AP1) à base des sédiments Brute



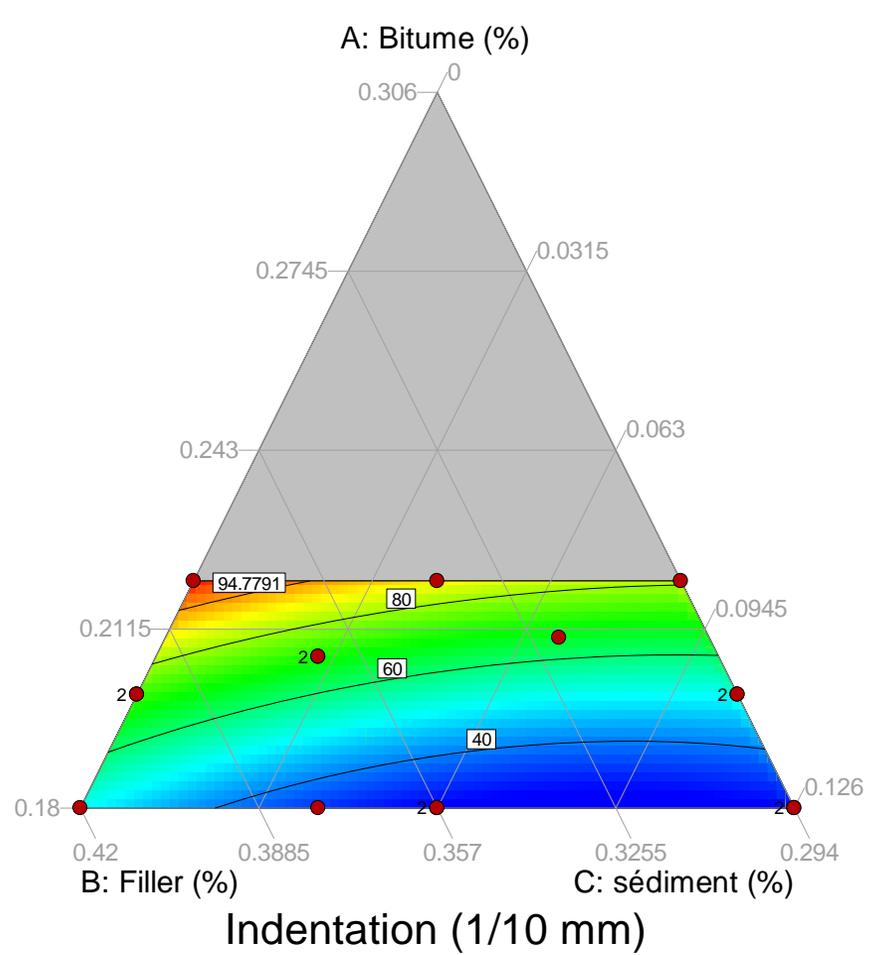
- Deux mélanges qui sont admissible M4 & M8 avec un seul sédiment (ASL)
- Le mélange M8 est admissible pour tout les sédiment
- D'autre mélange peuvent être accepté
- Plus le sédiment est présente dans la matrice plus l'indentation est faible
- la quantité de bitume exigé est d'ordre de 22%

Résistances à la déformation par indentation de Asphalte coulé à base de sédiment traité à 3% de chaux (CaO)

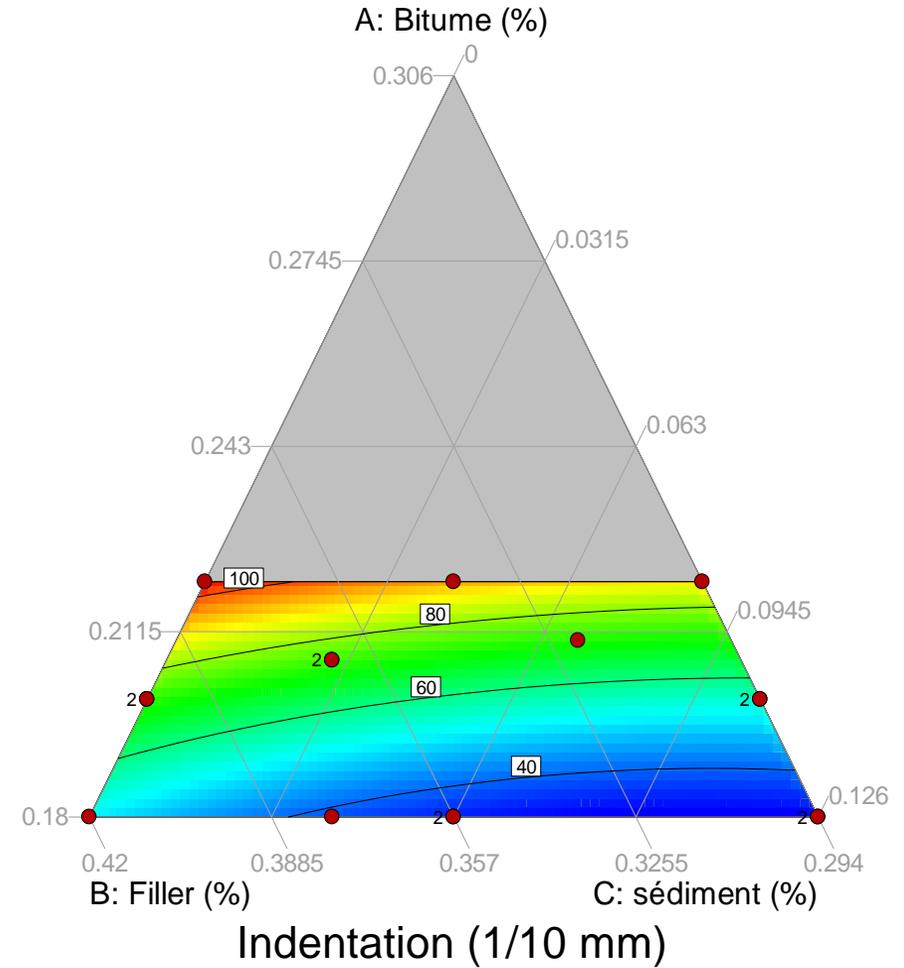


- Une légère augmentation de l'indentation pour les mélanges à base des sédiment traité à la chaux vive
- Les sédiment ASLT et ARST les plus favorable par rapport à d'autres
- L'augmentation de la quantité de sédiment exige la demande en bitume
- La matière organique est le facteur principale de la faible indentation

Représentation en 2D des résultats l'indentation de l'asphalte coulé (AP1) à base de sédiment brute et traité à la chaux CaO

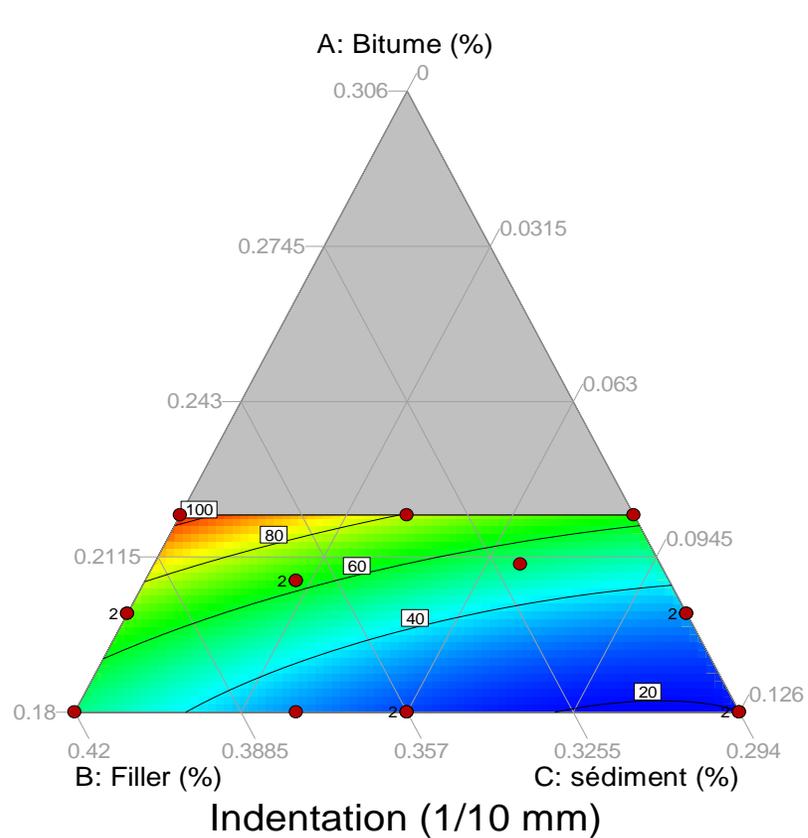


ASL

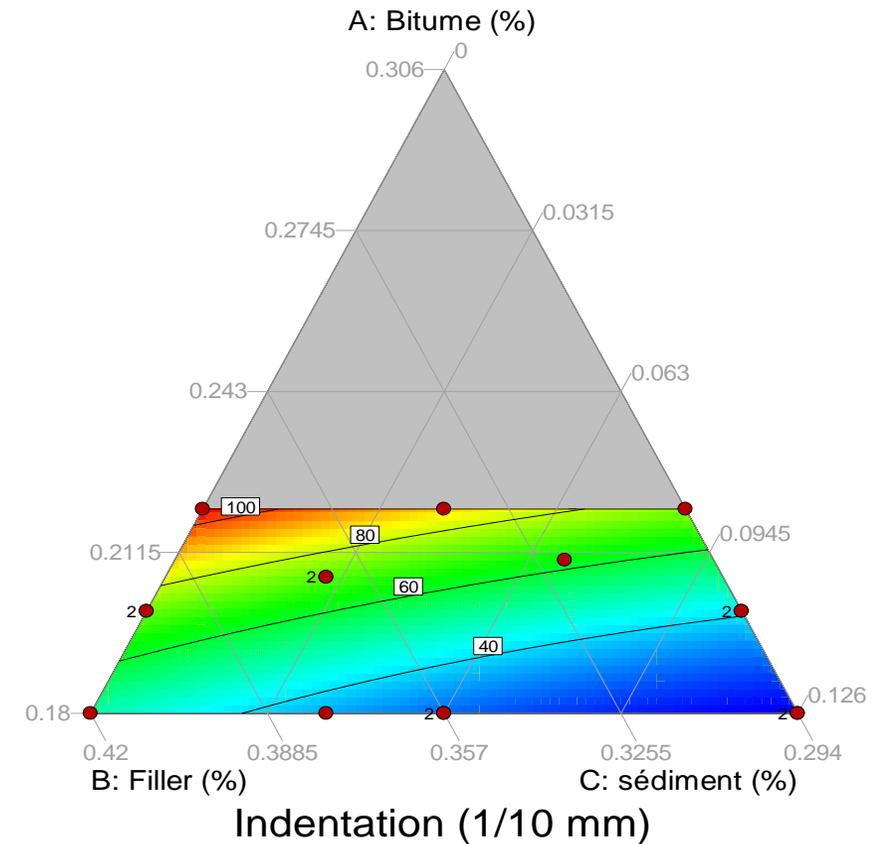


ASL.T

Représentation en 2D des résultats de l'indentation de l'asphalte coulé (AP1) à base de sédiment brute et traité à la Chaux (CaO)

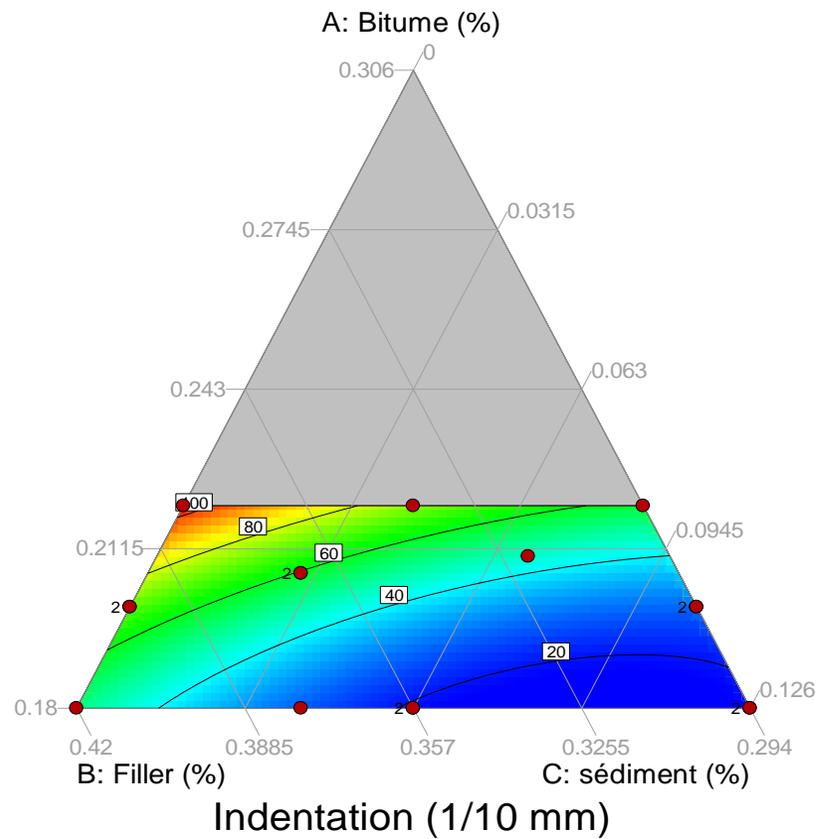


ARS

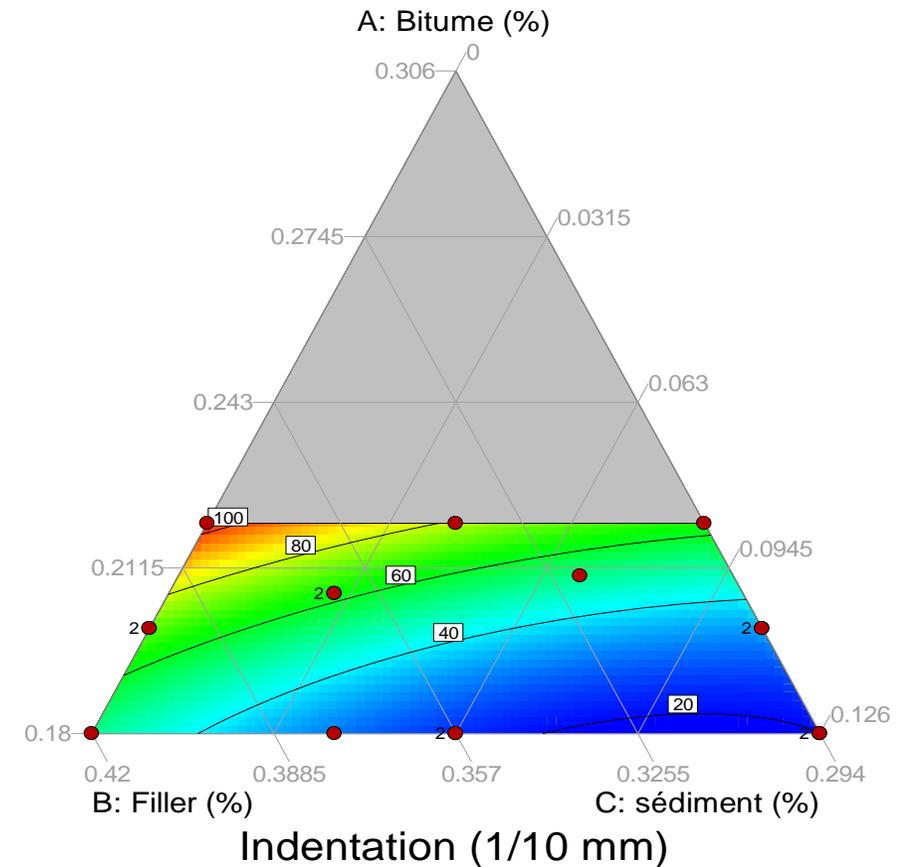


ARS.T

Représentation en 2D des résultats l'indentation de l'asphalte coulé (AP1) à base de sédiment brute et traité à la chaux CaO

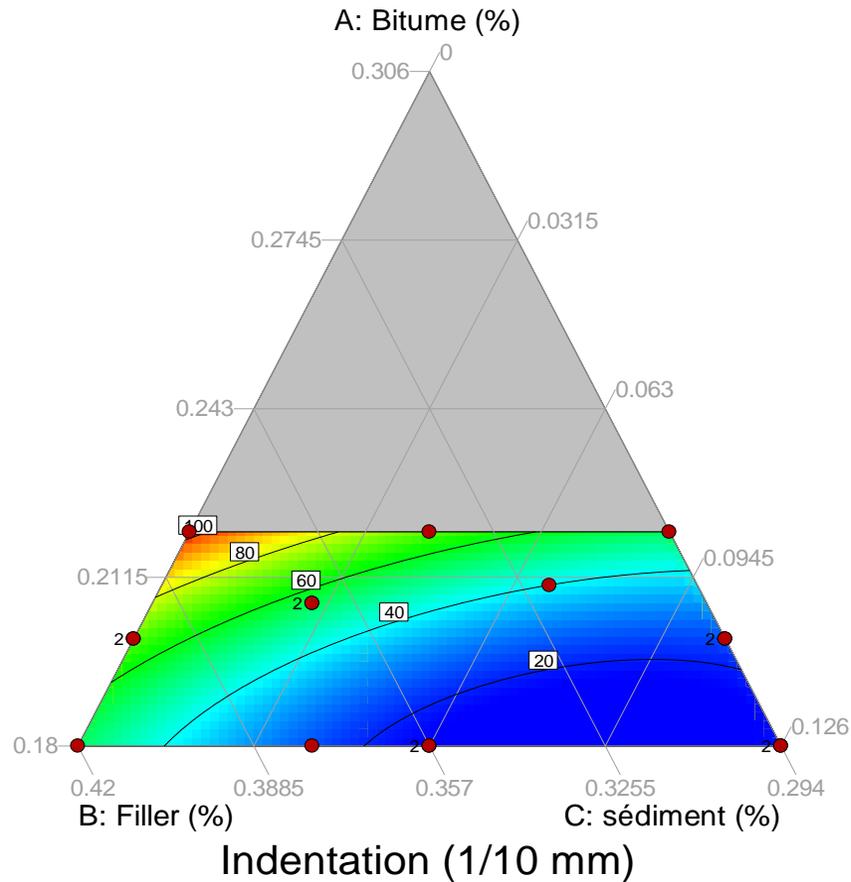


MEL

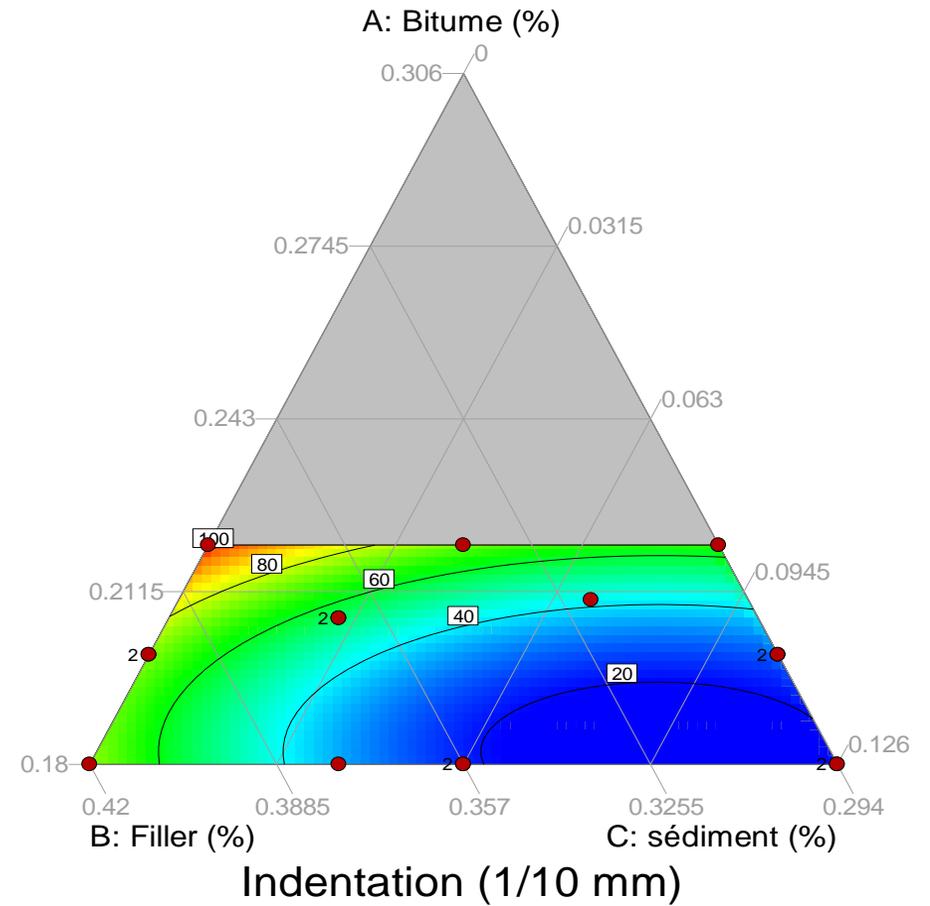


MEL.T

Représentation en 2D des résultats l'indentation de l'asphalte coulé (AP1) à base de sédiment brute et traité à la chaux CaO

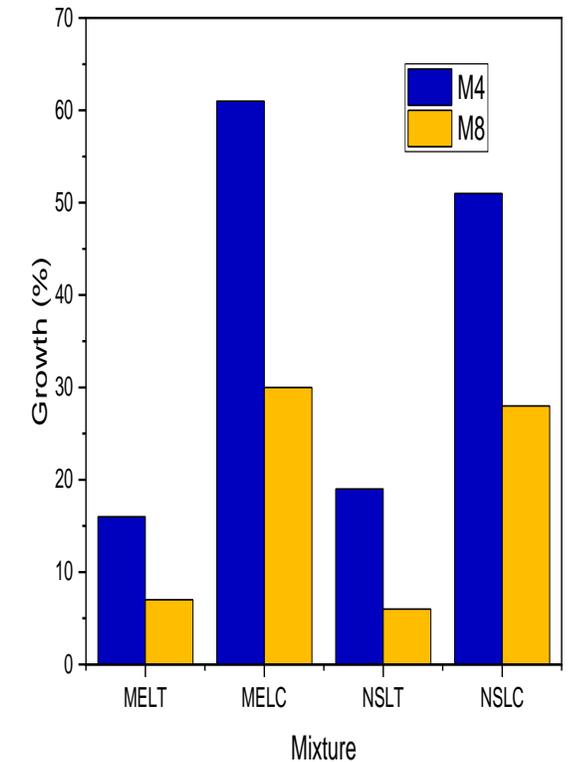
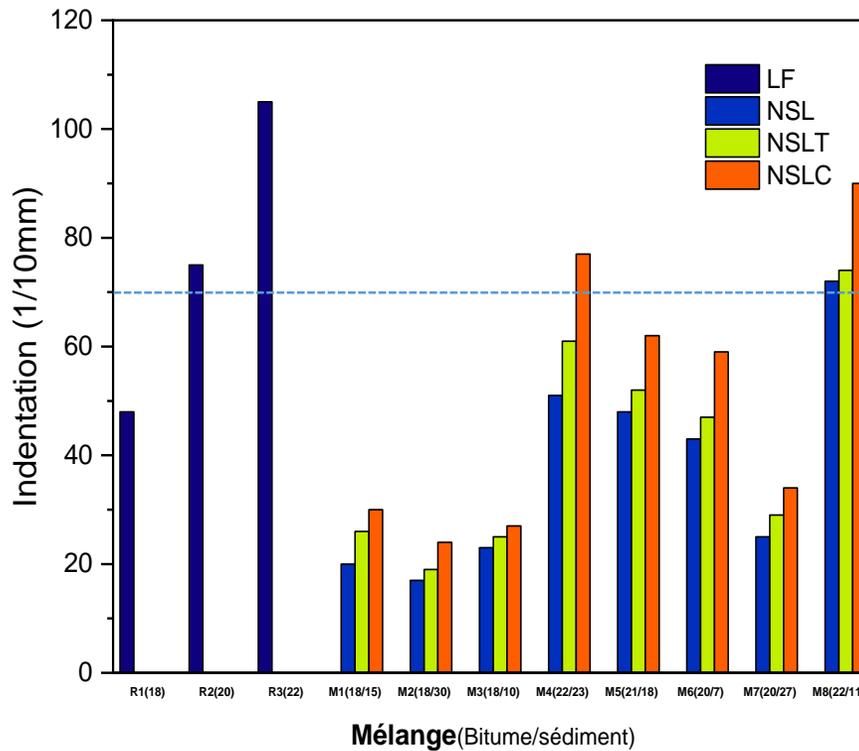
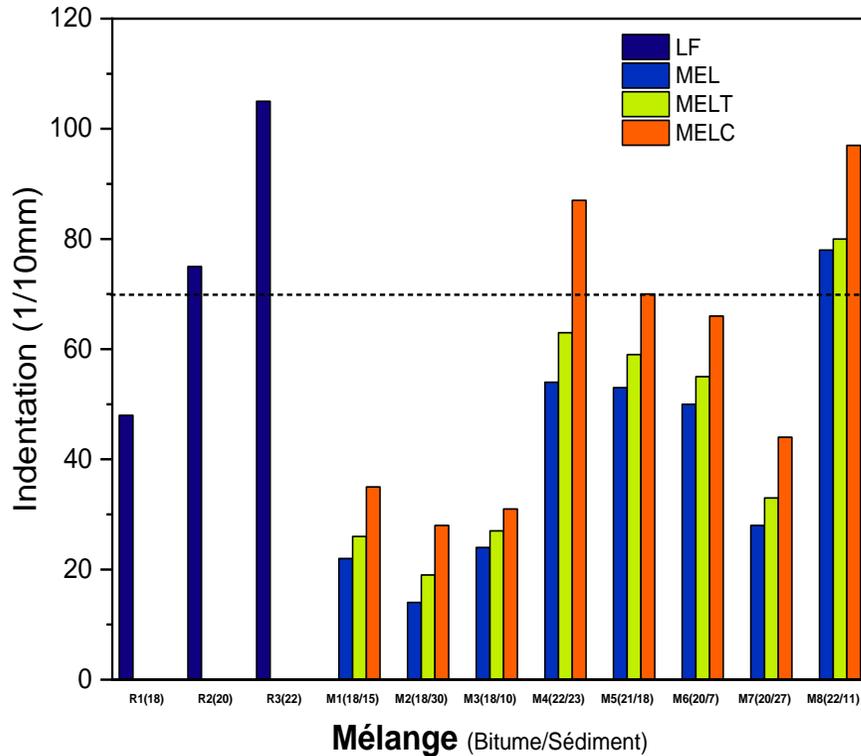


NSL



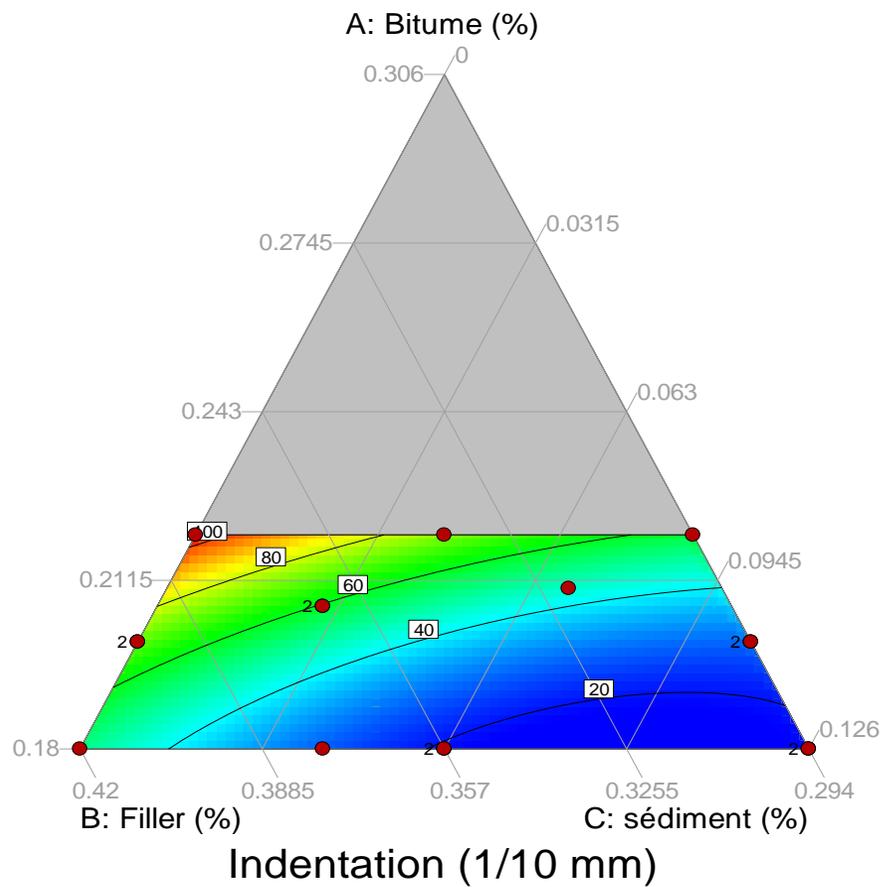
NSL.T

Résistances à la déformation par indentation de AC à base de sédiment traité à 3% de chaux (CaO) & Calciné 550°

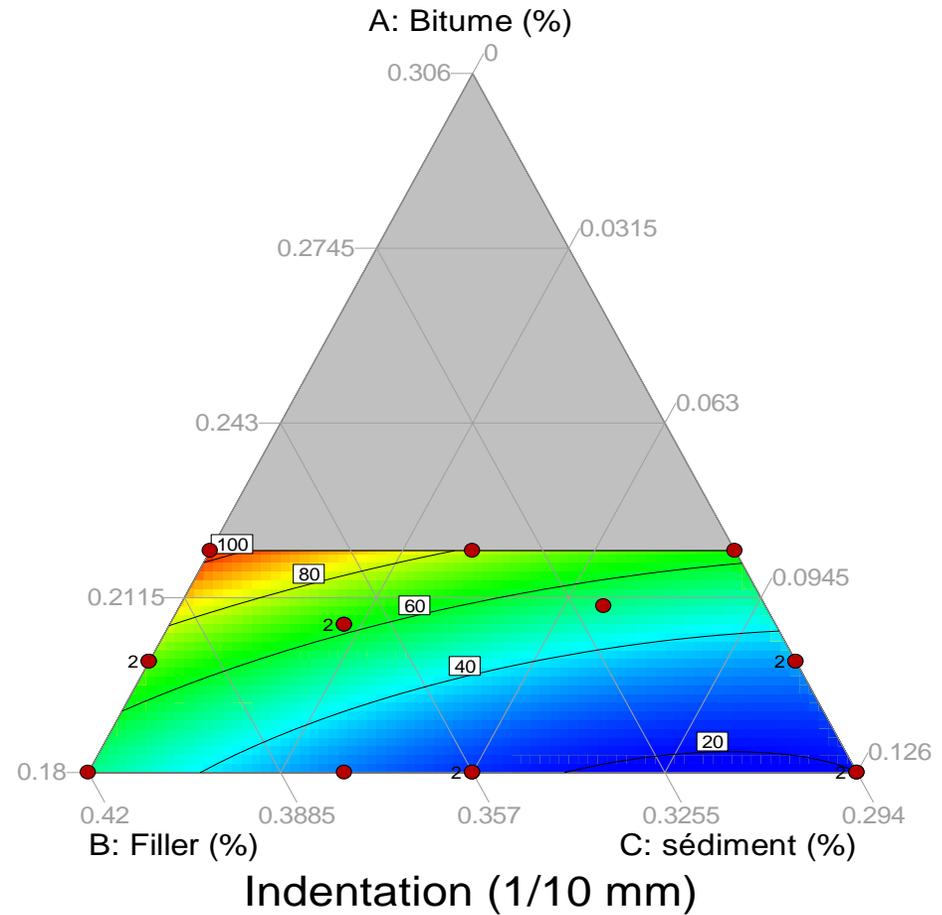


- Trois mélange admissible à base de sédiment MELC dont Indentation de M4 environ 90 1/10mm avec 23 % de substitution
- La calcination prouve l'impacte de la matière organique sur l'indentation
- Amélioration de l'indentation pour les mélange à base de sédiment NSLC
- L'augmentation de l'indentation peut aller jusqu'à 60% avec les sédiment calciné

Représentation en 2D de la résistance à la déformation par indentation de l'asphalte coulé à base de sédiment MEL et MEL.C

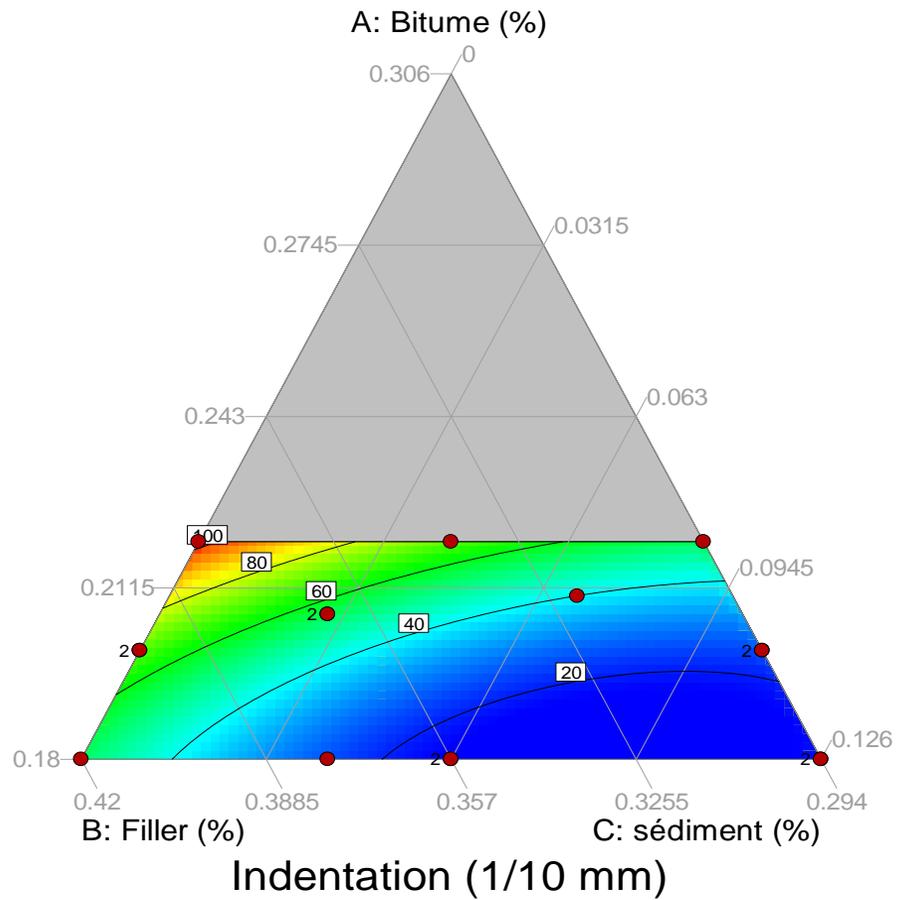


MEL

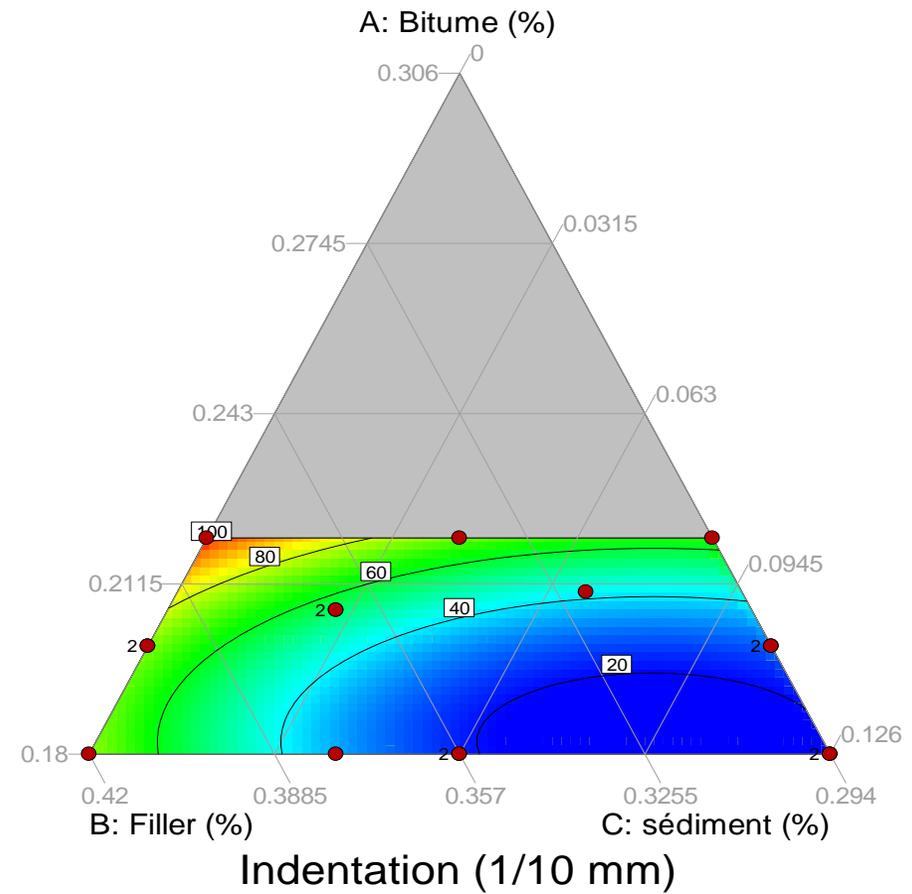


MEL.C

Représentation en 2D des résultats d'indentation de l'asphalte coulé à base de sédiment NSL et NSL.C

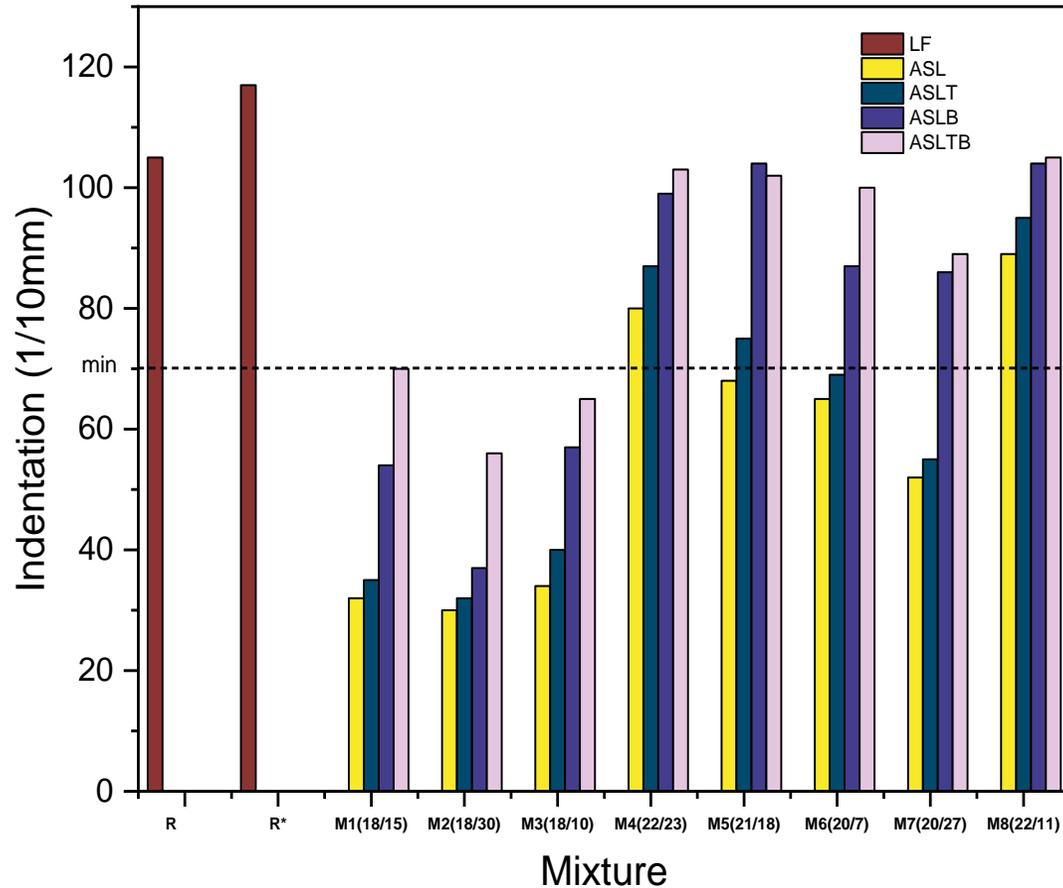


NSL

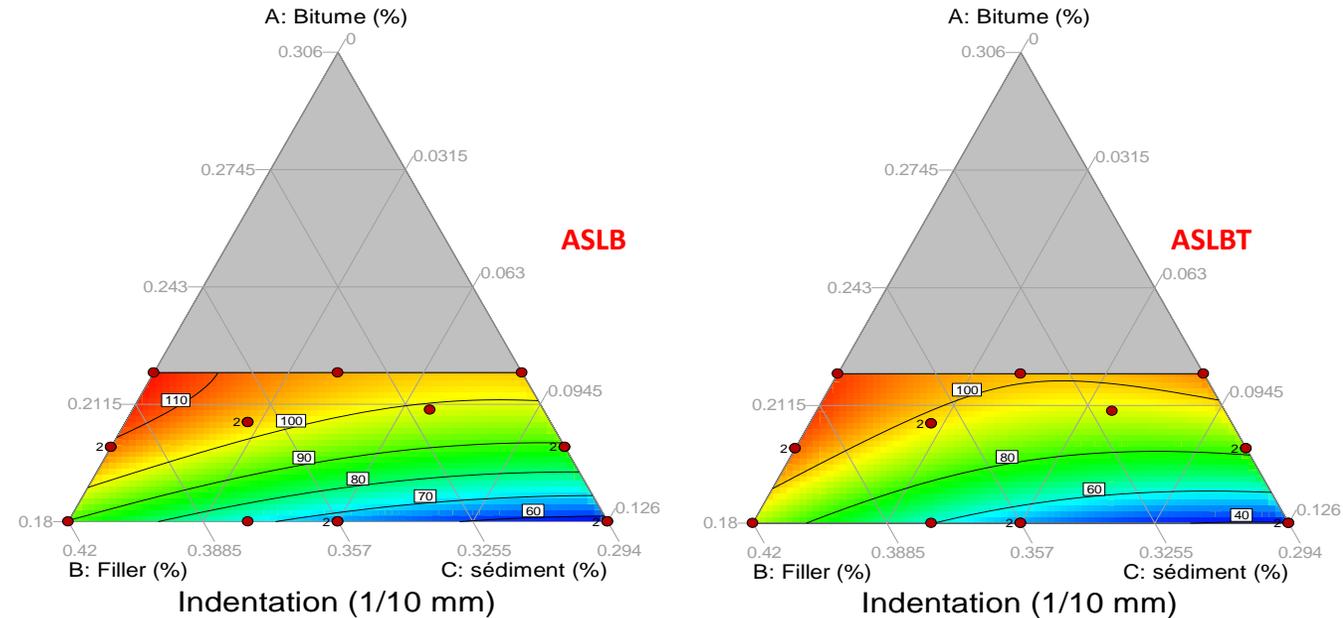


NSL.C

Effet du grade de bitume sur résistances à la déformation par indentation de AC



Représentation en 2D des résultats d'indentation de l'asphalte coulé à base de sédiment ASL-ASLT & B50/70



- Un effet phénoménale du grade de bitume sur l'indentation
- La majorité des mélanges sont admissible
- Un taux de substitution peuvent aller jusqu'à 30%
- Les mélanges à base de sédiment traité à la chaux donne mieux que celle du brutes

Prédiction de l'indentation

Modèle le plus adapté

Modèle de régression quadratique de Scheffé

$$\hat{Y} = \sum_{i=1}^q \beta_i X_i + \sum_{i=1}^q \sum_{i < j}^q \beta_{ij} X_i X_j$$

Y: réponse prédite par le modèle (résistance à la déformation « indentation »)

q : nombre de constituants (ici, q=3: ciment, laitier et addition); β_i et β_{ij} : coefficients du modèle;

X_i : proportions des constituants.

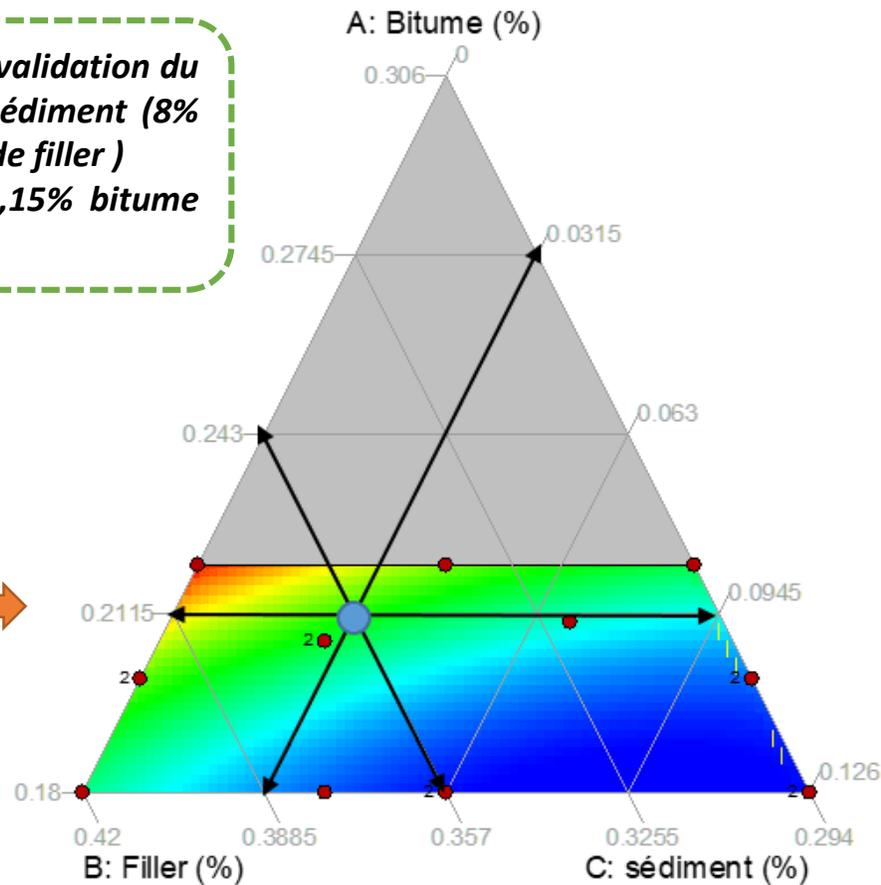
$$I_{(1/10\text{mm})} = (A * \beta_1 + B * \beta_2 + C * \beta_3) + (A * B * \beta_{12} + A * C * \beta_{13} + B * C * \beta_{23})$$

Coefficients du modèle par différents sédiments

Sédiment	β_1	β_2	β_3	β_{12}	β_{13}	β_{23}
ASL	+3927.02626	+401.44792	+1535.90061	-10918.69439	-13705.65040	-2660.45649
ARS	+5730.54278	+856.87995	+2385.86243	-17727.56530	-23173.60494	-2709.29682
MEL	+6011.71690	+910.81042	+3186.24946	-18706.23771	-26317.20961	-3927.36654
NSL	+7027.17467	+1209.20670	+3790.57894	-22754.47090	-30542.84550	-4919.95349
ASLT	+4396.77668	+507.59401	+1104.64448	-12624.63511	-13942.62581	-1701.68626
ARST	+4449.12579	+495.10303	+1197.42436	-12690.77060	-15954.07461	-1175.49932
MELT	+5553.89236	+806.15951	+2463.74858	-17033.05036	-22522.71762	-3104.04632
NSLT	+10595.33790	+2379.06126	+3891.56407	-37469.85487	-37636.93804	-6477.21395
MELC	+7389.27423	+1204.84591	+1938.51297	-23622.19939	-25787.90233	-1781.86374
NSLC	+8421.79956	+1471.04600	+2814.41061	-27548.00157	-31770.52182	-2728.01978
ASLB	-4165.36017	-1157.71808	-2030.46879	+17544.79860	+26224.13580	-3718.63034
ASLTB	-4015.54348	-1170.25230	-1514.50416	+17247.13691	+20793.89736	-1879.90732

Validation du modèle

*Formulation de validation du modèle 3,15% sédiment (8% de substitution de filler)
35,7 % filler 21,15% bitume
40% sable*

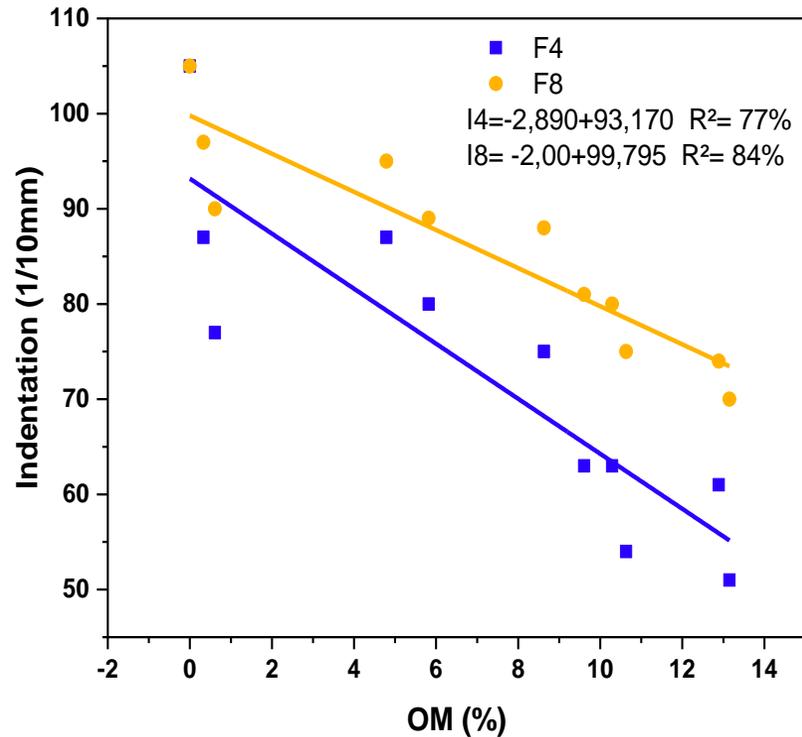


Sédiment	Indentation moyenne prédite (1/10)mm	Intervalle de confiance à 95% (1/10)mm	Indentation moyenne expérimentale (1/10)mm
ASL	75.68	[73.24-79.89]	73.14
ARS	69.47	[64.45-73.85]	65.75
MEL	64.01	[59.43-70.12]	60.98
NSL	59.22	[53.16-66.22]	55.17
ASLT	80.01	[77.32-83.11]	81.55
ARST	77.10	[74.37-88.45]	75.42
MELT	68.70	[63.52-73.25]	64.87
NSLT	60.19	[54.71-65.12]	57.57
MELC	78.29	[74.61-82.23]	77.26
NSLC	72.81	[67.32-77.36]	69.14
ASLB	99.31	[92.89-99.27]	100.03
ASLTB	104.87	[101.43-108.31]	107.14

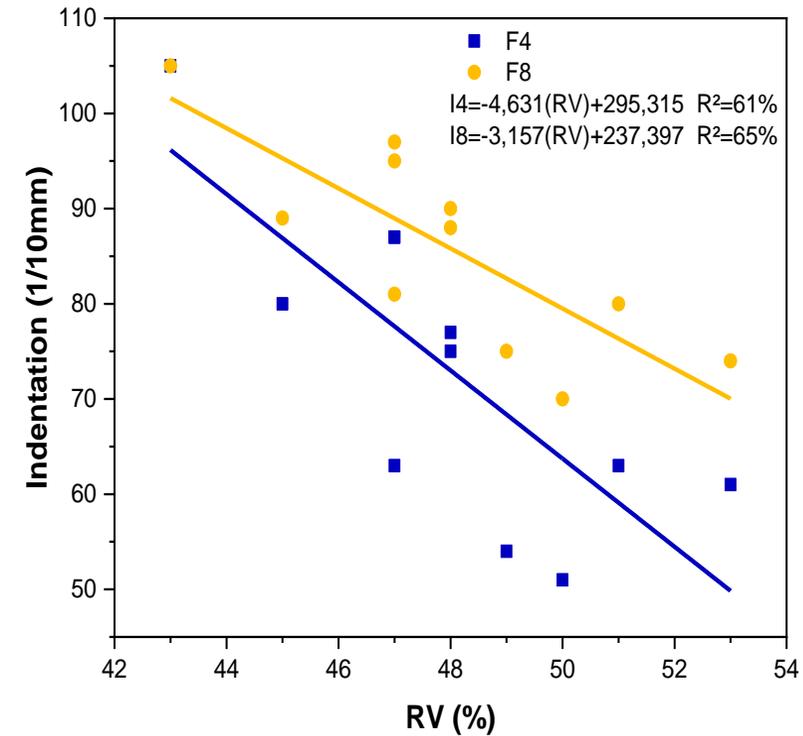
→ Moyenne des valeurs de l'indentation comprise dans l'intervalle de confiance à 95 %

→ Les modèles sont **validés**, prédictions de Indentation avec grande **précision**

Corrélation indentation matière organique

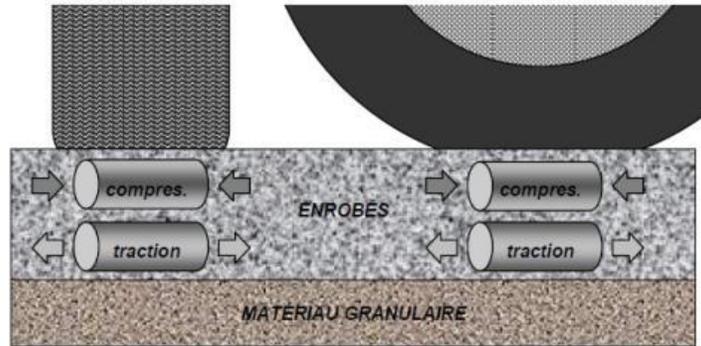


Corrélation indentation & Rigden Voids

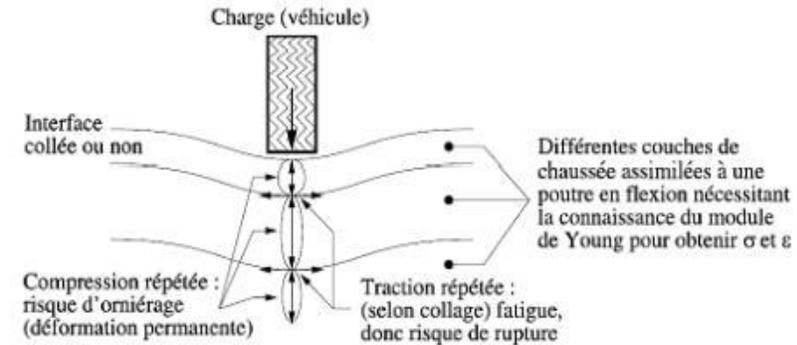


- Une forte corrélation entre l'indentation et la matière organique $R^2=84\%$
- Une forte corrélation entre l'indentation et la porosité inter-granulaire (RV)
- Plus la matière organique est présent plus le Rv est important plus l'indentation est faible

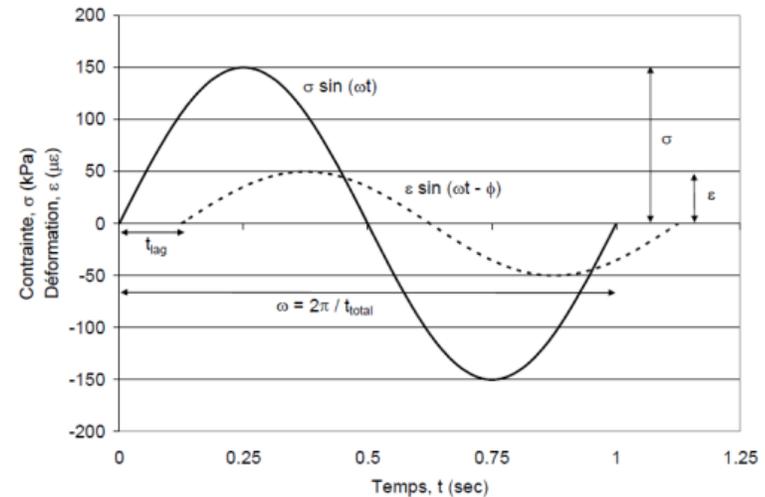
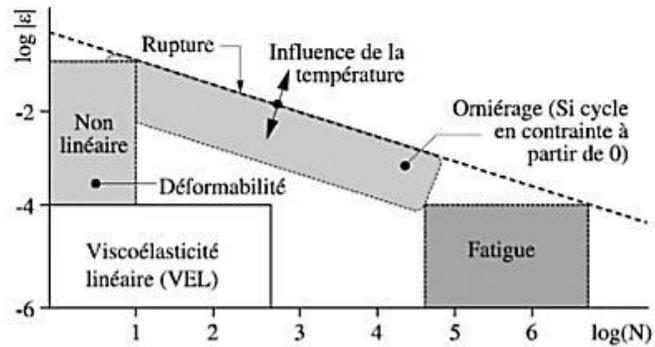
Le comportement Thermomécanique et chimique de l'asphalte coule



Sollicitation en traction et en compression des enrobés lors du passage des véhicules



Schématisation des effets induits par le trafic



Le comportement Thermomécanique et chimique de l'asphalte coulé

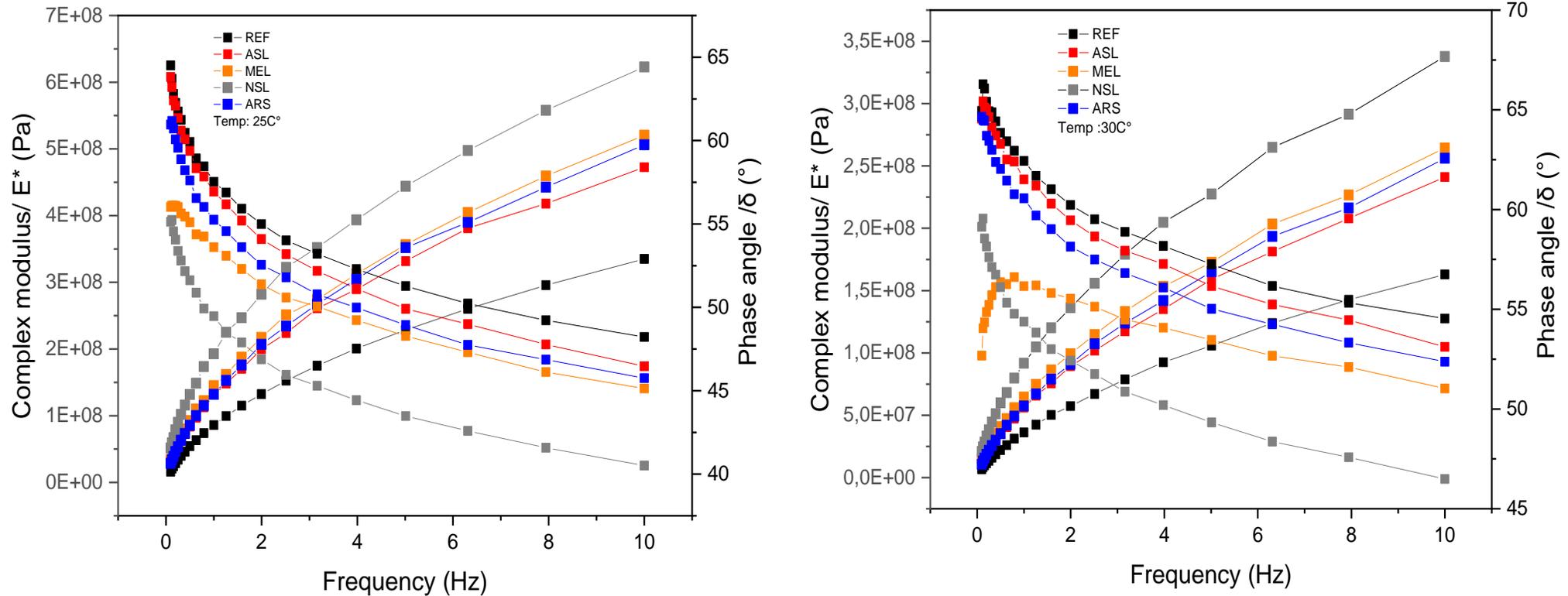


Appareil DMA-module (compression-traction)



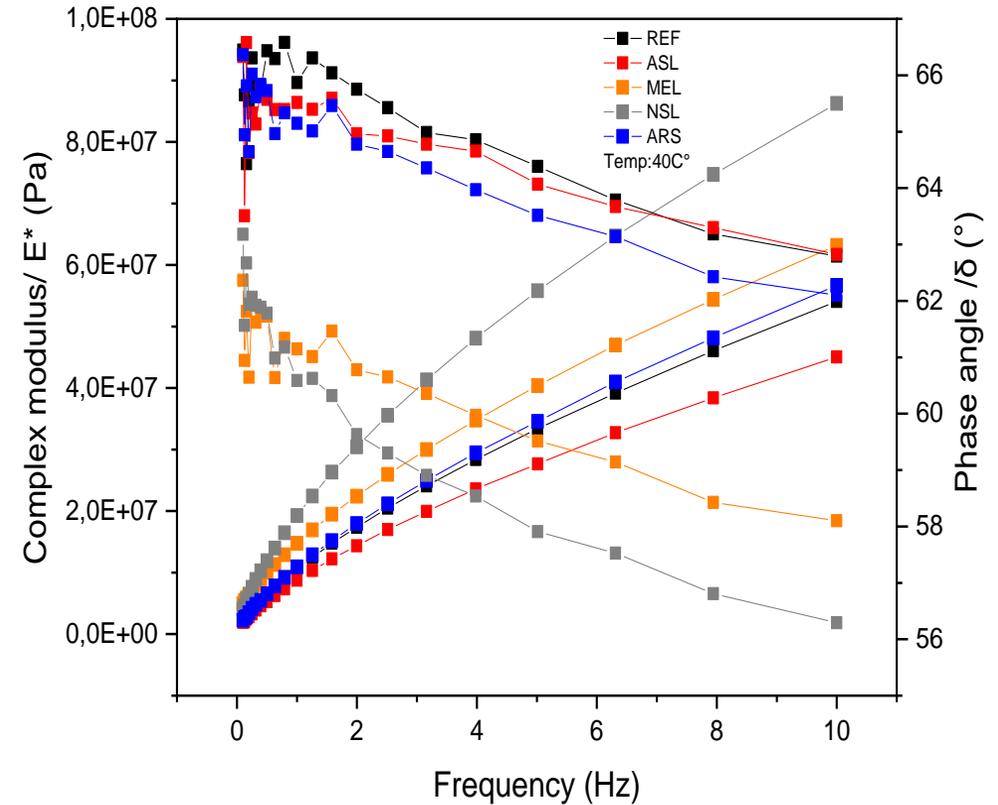
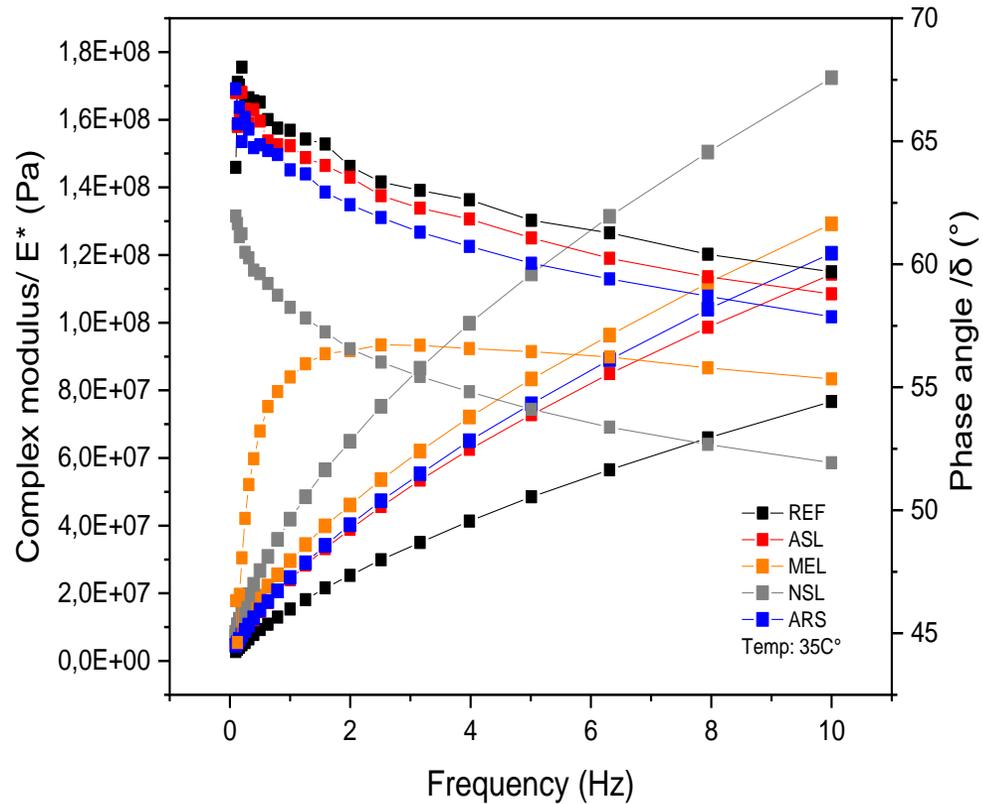
Moule cylindrique pour asphalte coulé

Le comportement Thermomécanique et chimique de l'asphalte coule



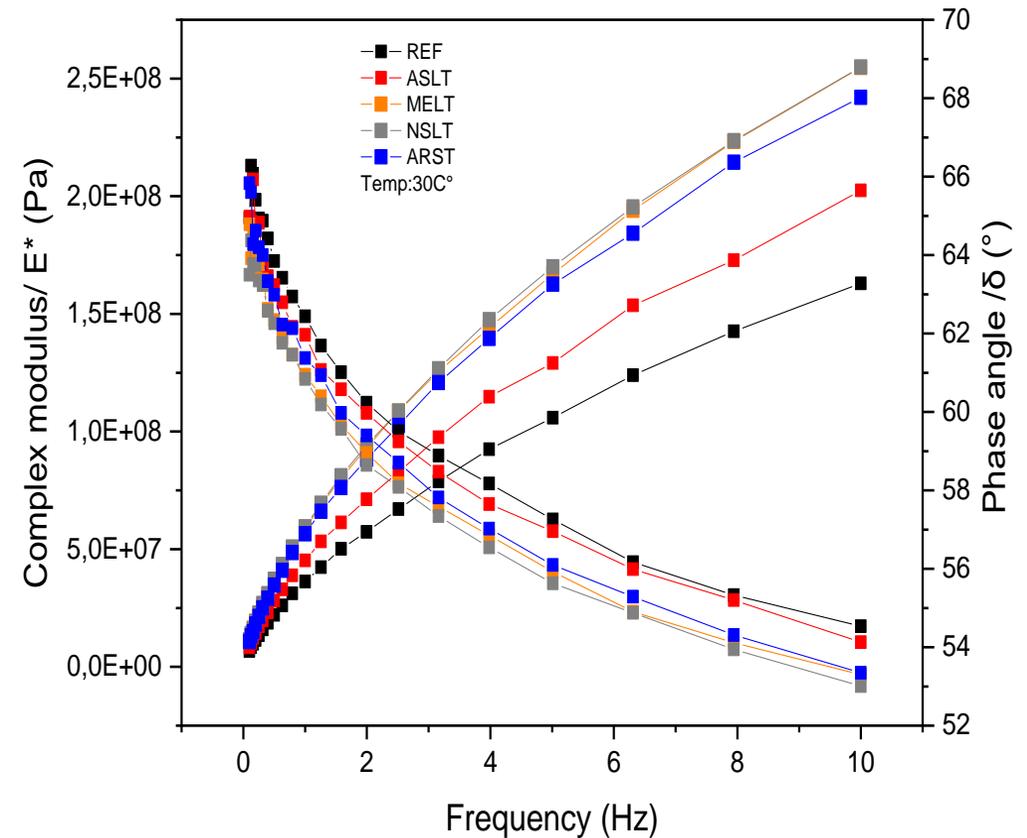
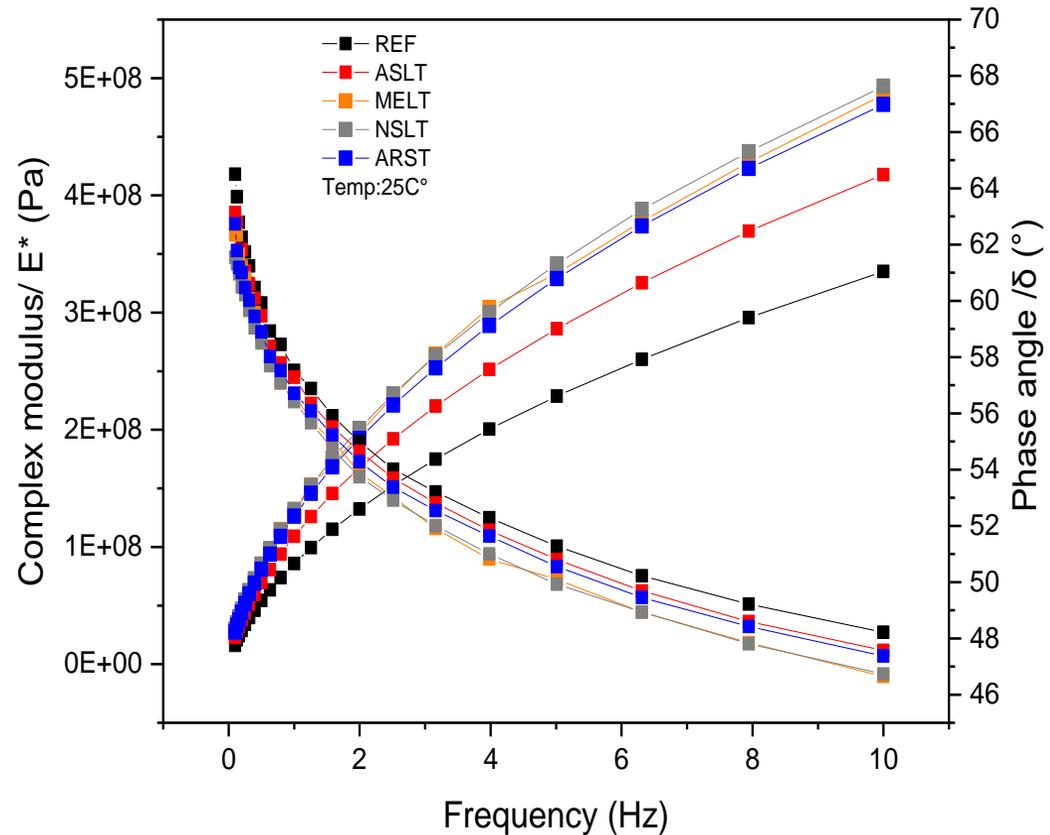
Courbe maitresse du module complexe et l'angle de phase 25°C et 30°C des fillers sédiment brute

Le comportement Thermomécanique et chimique de l'asphalte coule



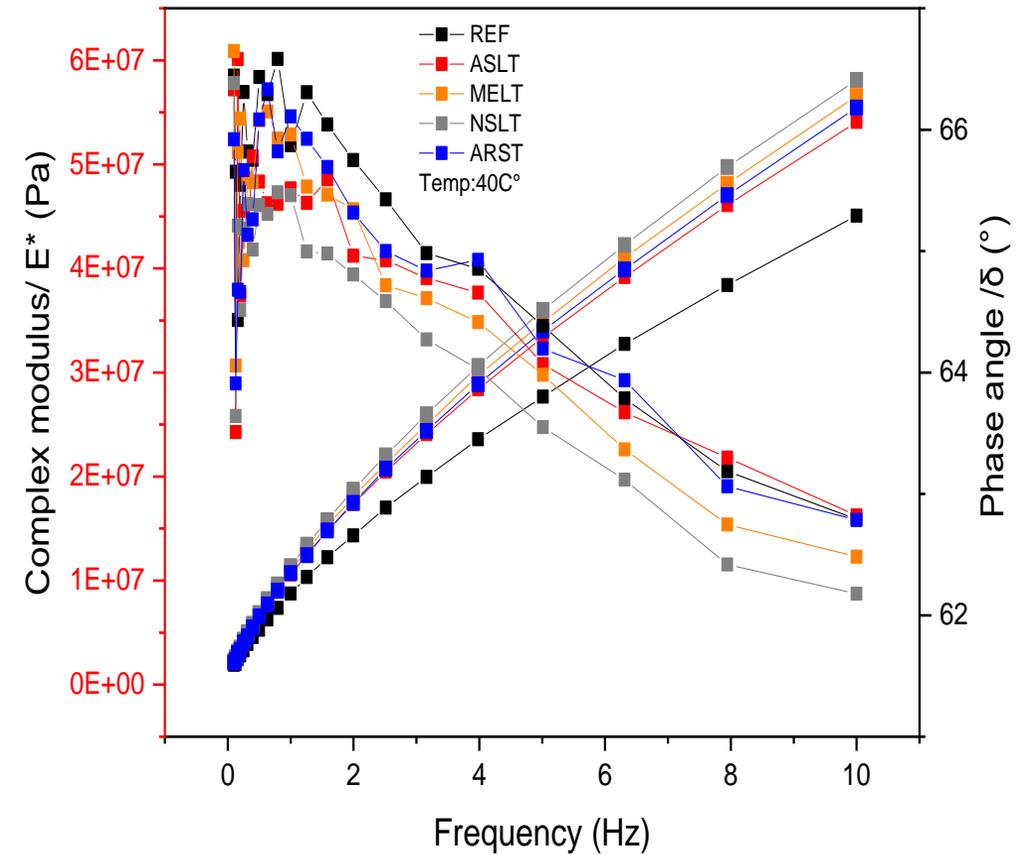
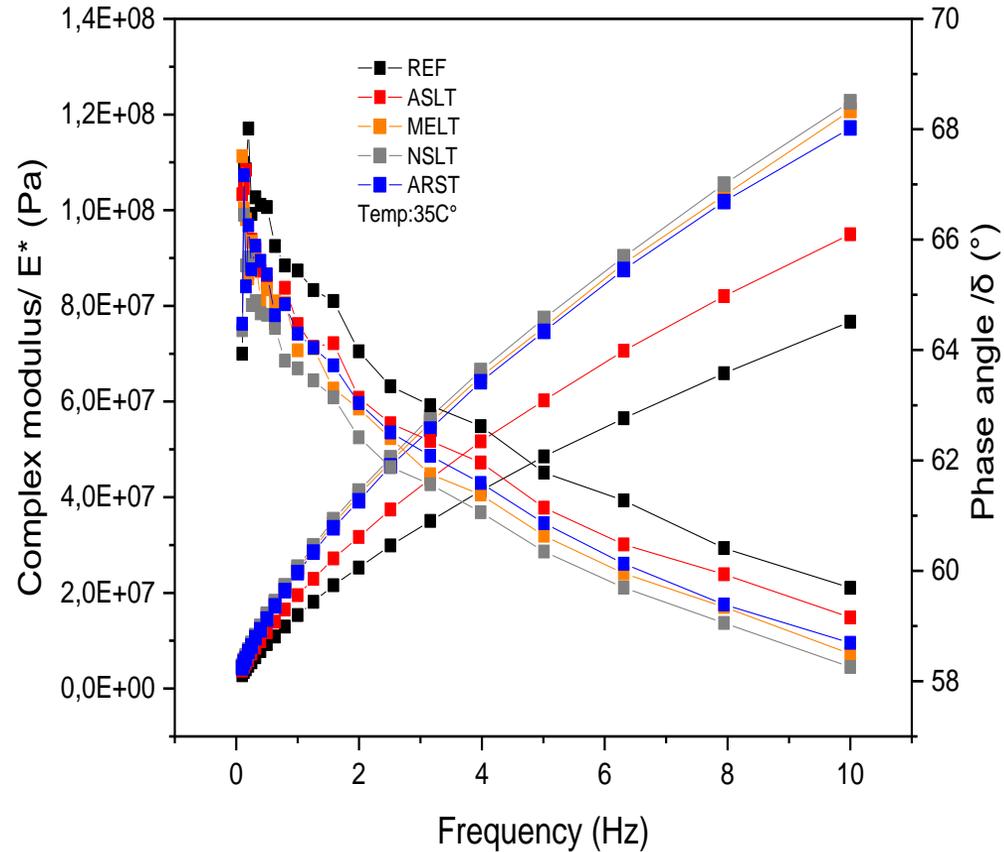
Courbe maitresse du module complexe et l'angle de phase 35C° et 40C° des fillers sédiment brute

Le comportement Thermomécanique et chimique de l'asphalte coule



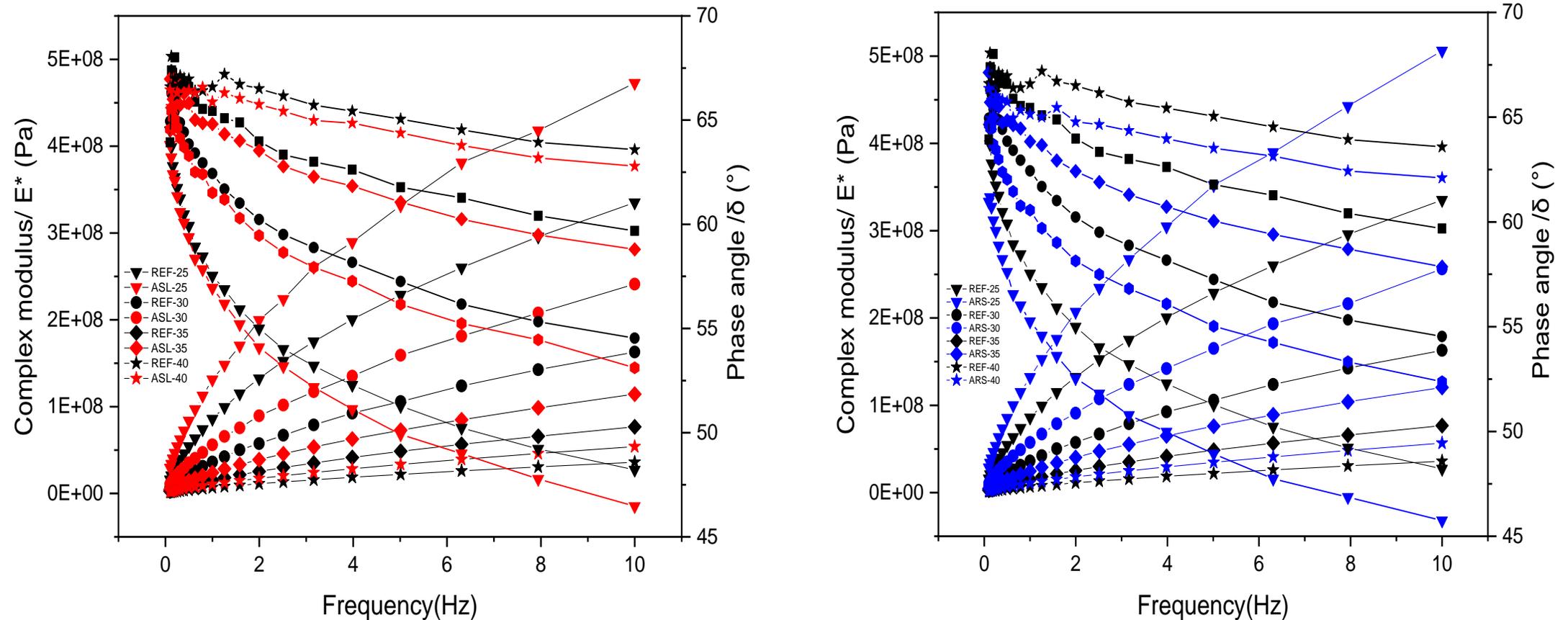
Courbe maitresse du module complexe et l'angle de phase 25°C et 30°C des fillers sédiment traité à la chaux

Le comportement Thermomécanique de l'asphalte coule



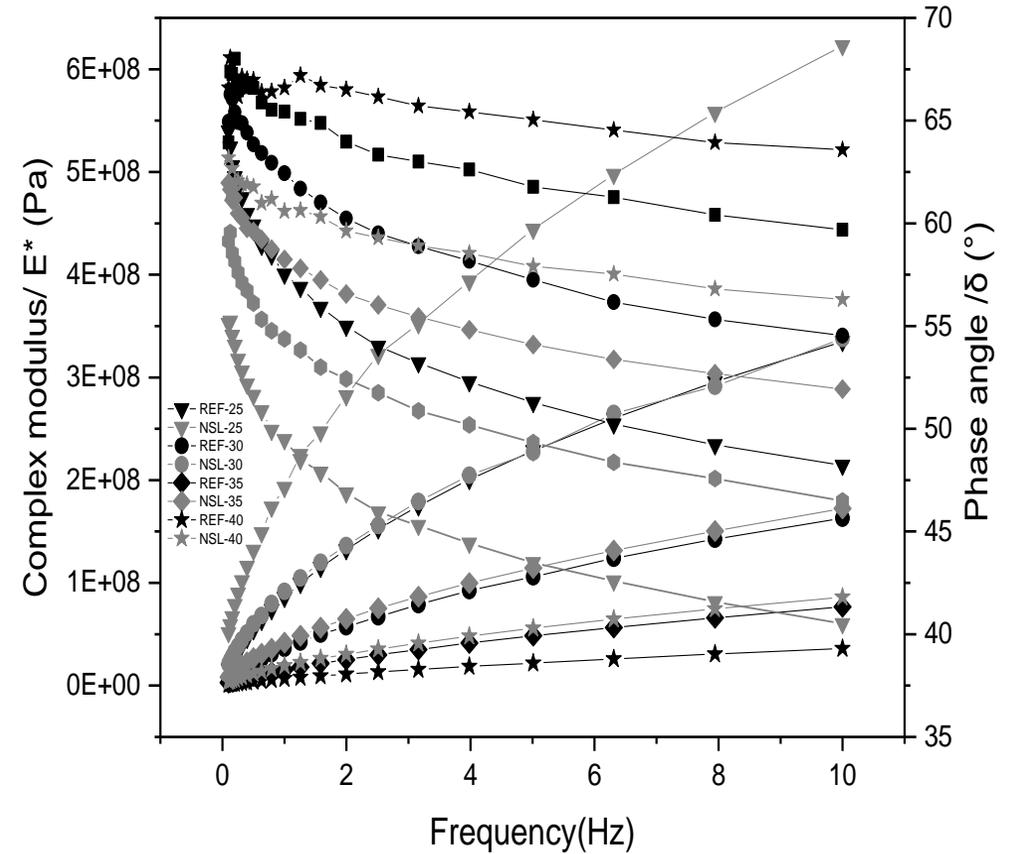
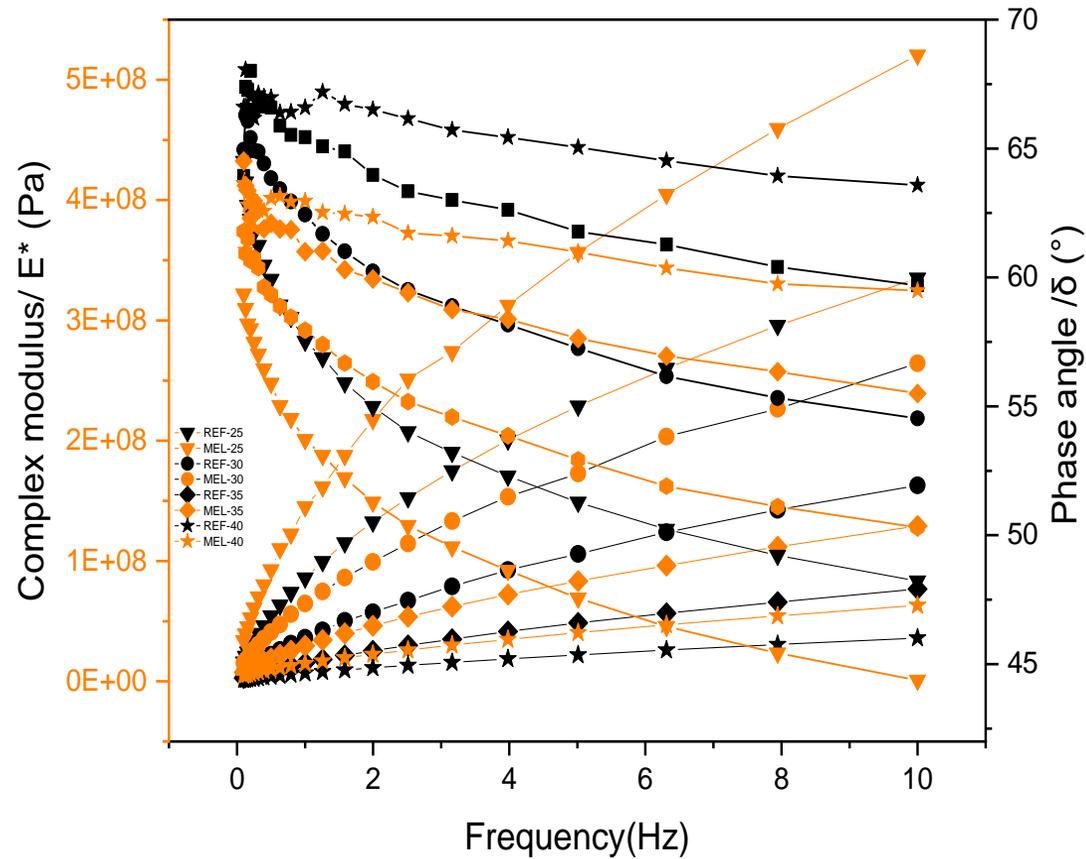
Courbe maitresse du module complexe et l'angle de phase 35°C et 40°C des fillers sédiment traité à la chaux

Le comportement Thermomécanique de l'asphalte coule



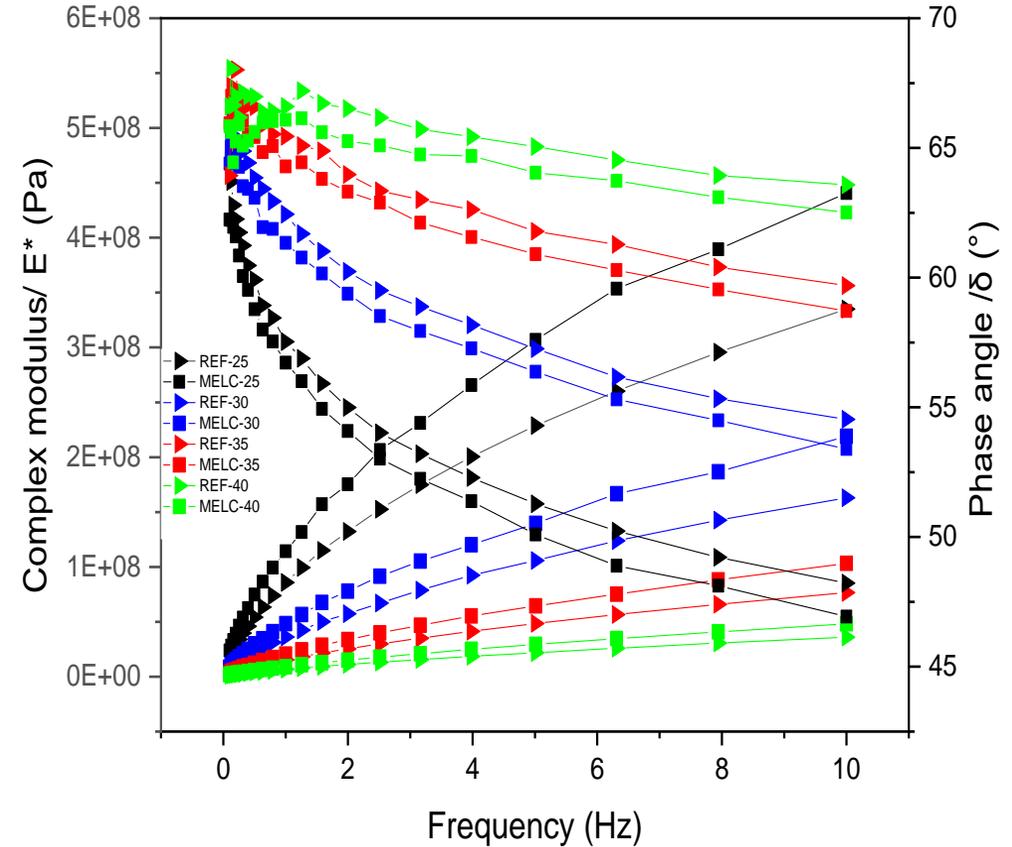
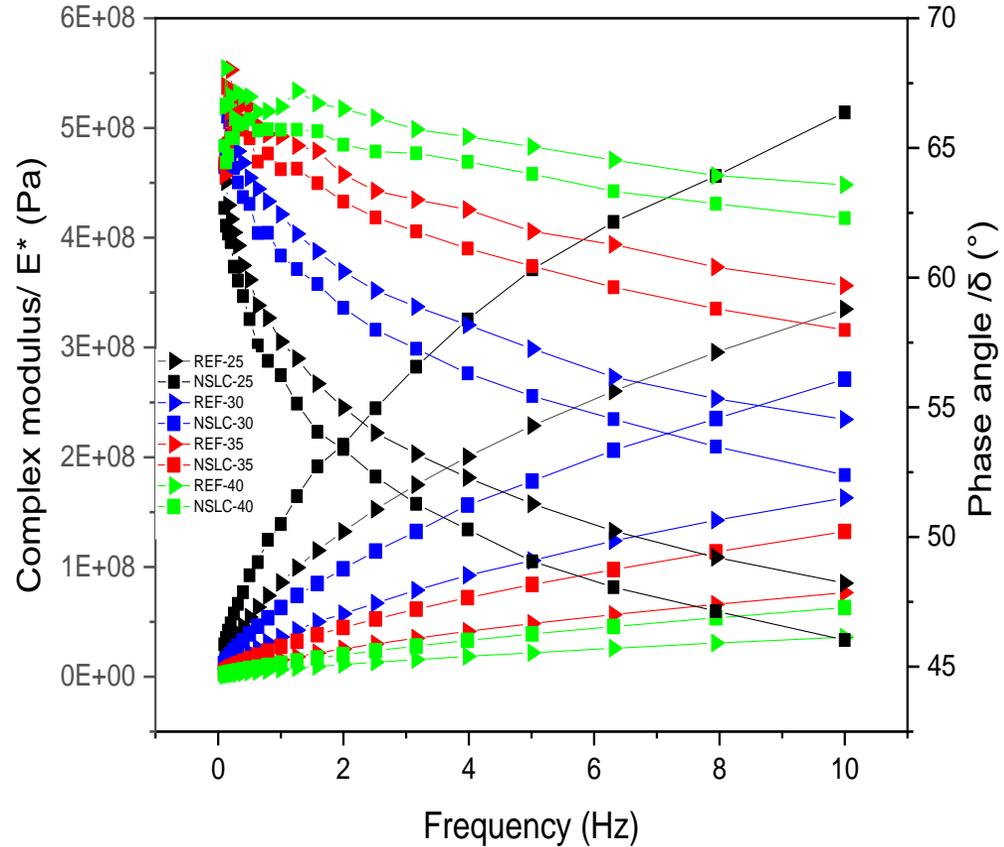
Courbe maitresse du module complexe et l'angle de phase de filler sédiment ASL (à gauche) ARS (à droite)

Le comportement Thermomécanique de l'asphalte coule



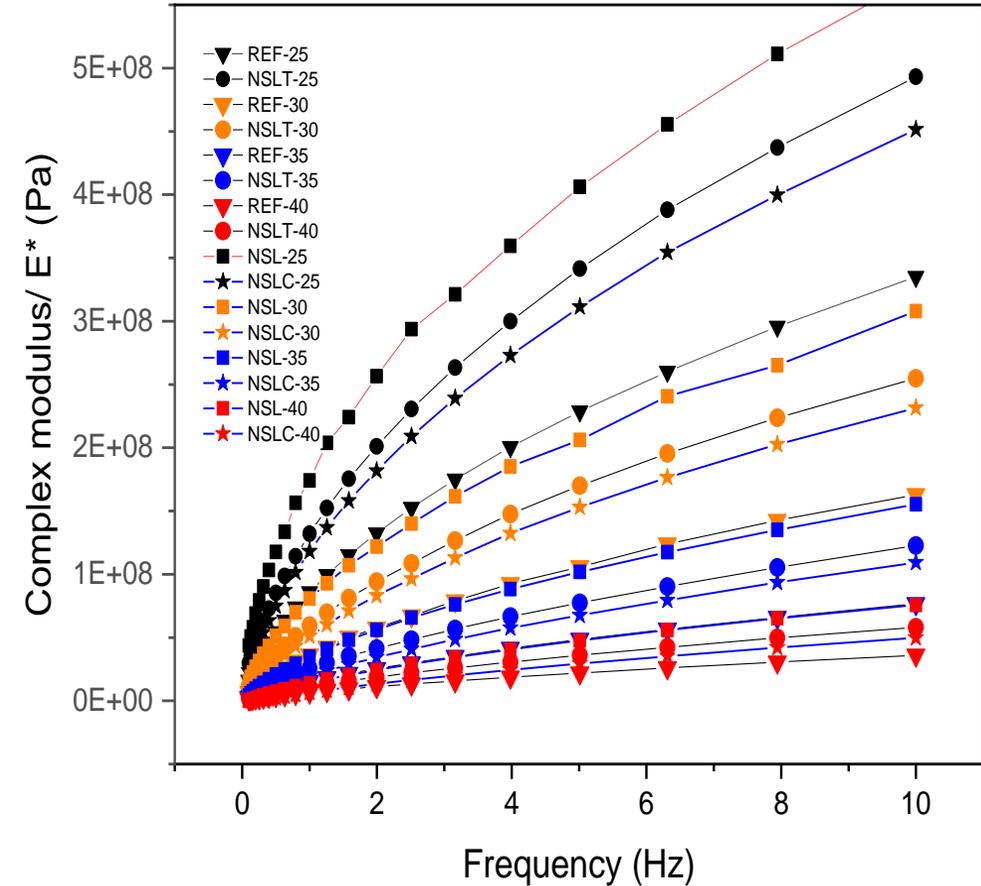
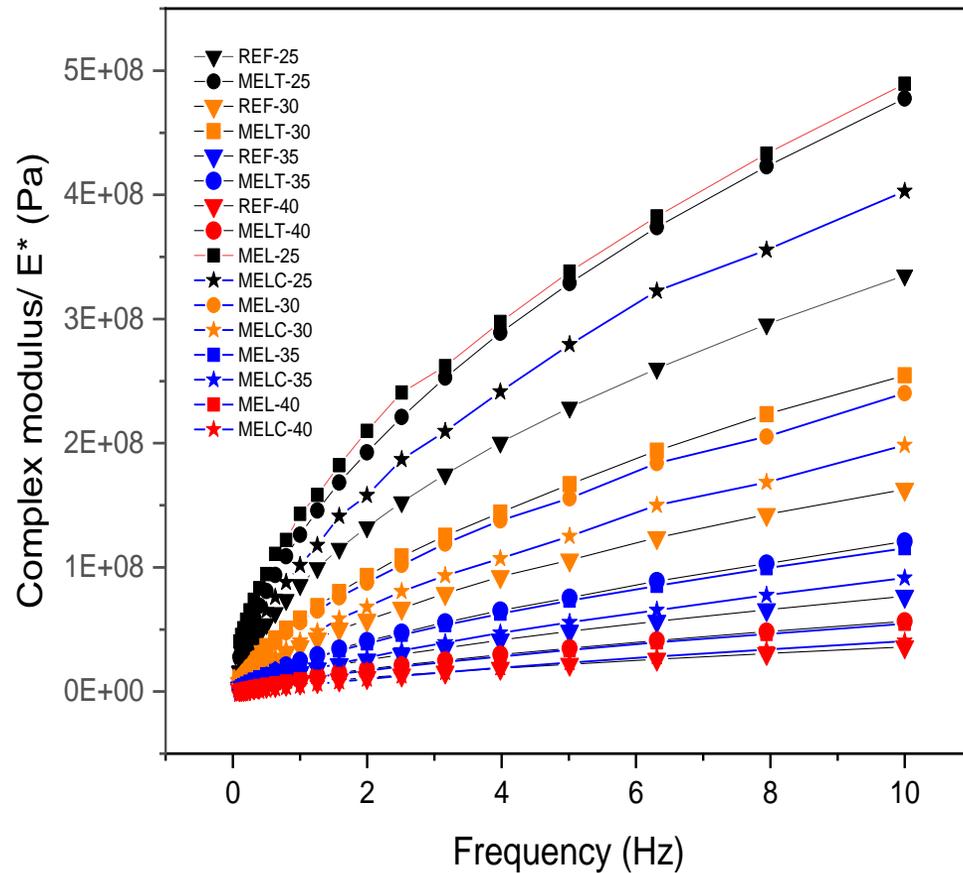
Courbe maitresse du module complexe et l'angle de phase de filler sédiment MEL (à gauche) NSL (à droite)

Le comportement Thermomécanique et chimique de l'asphalte coule



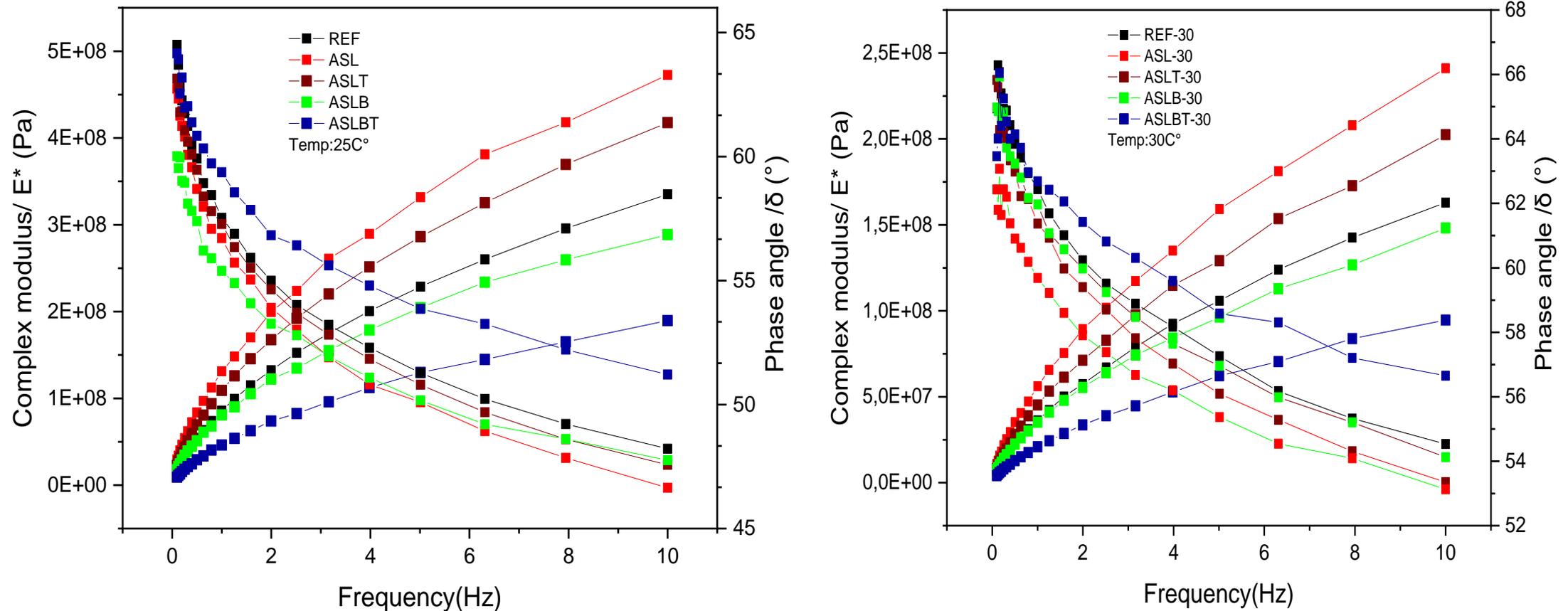
Courbe maitresse du module complexe et l'angle de phase de filler sédiment NSLC (à gauche) MELC (à droite)

Le comportement Thermomécanique de l'asphalte coule



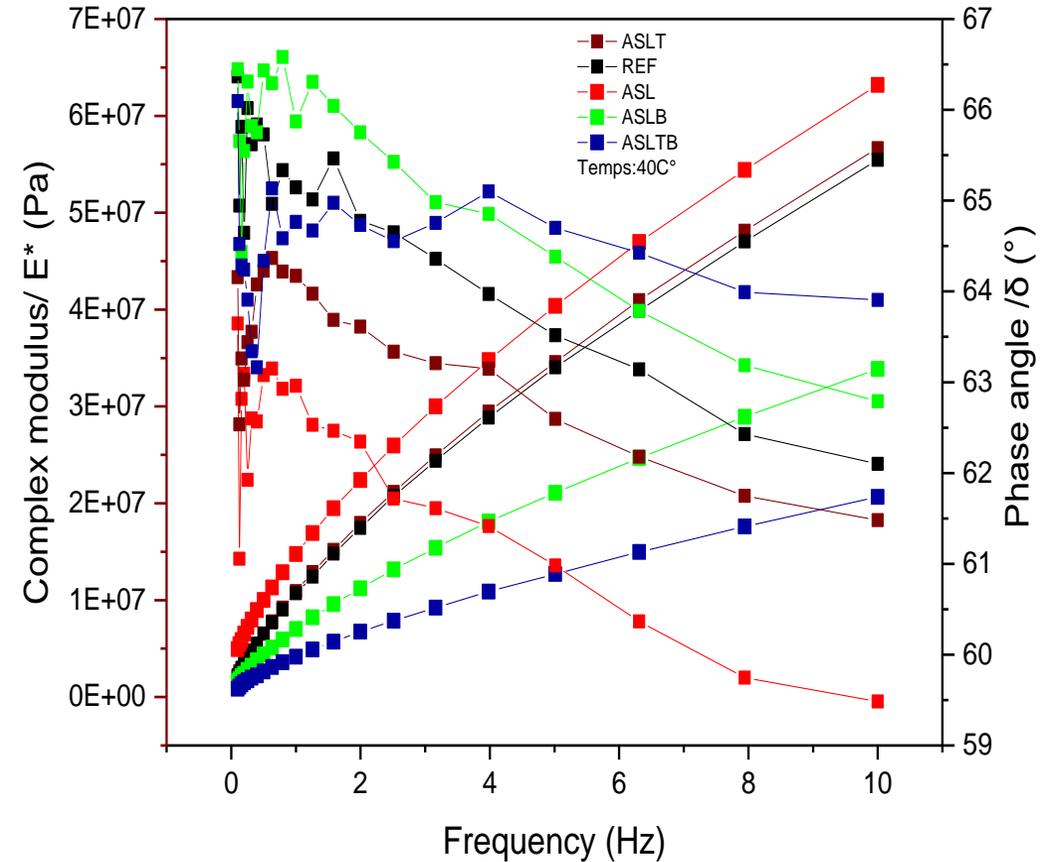
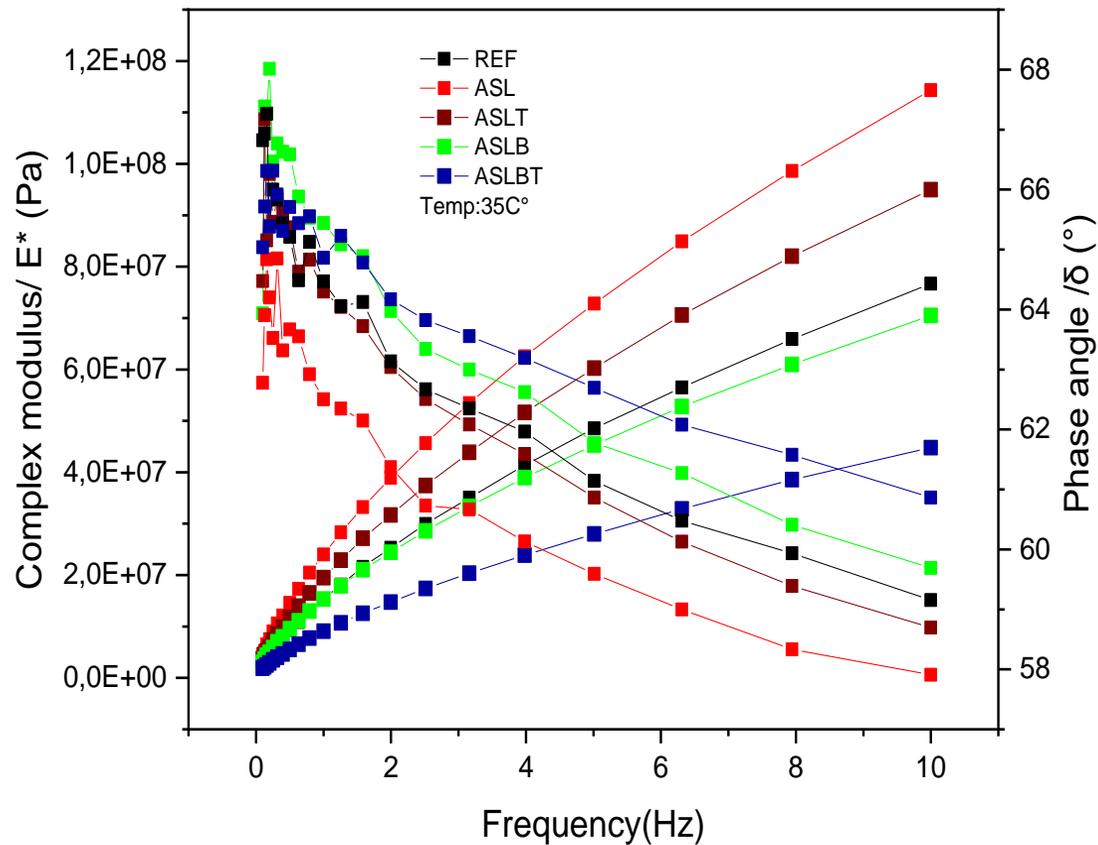
Courbe maitresse du module complexe et l'angle de phase de filler sédiment groupe MEL et NSL

Le comportement Thermomécanique de l'asphalte coule



Courbe maitresse du module complexe et l'angle de phase à 25°C et 30°C des fillers ASL-ASLT avec le bitume 35/50 et 50/70(B)

Le comportement Thermomécanique de l'asphalte coule



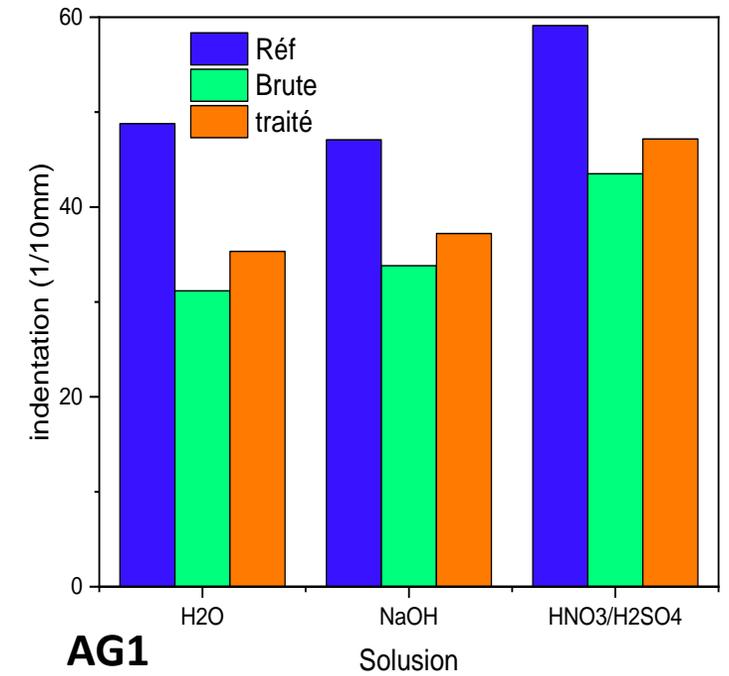
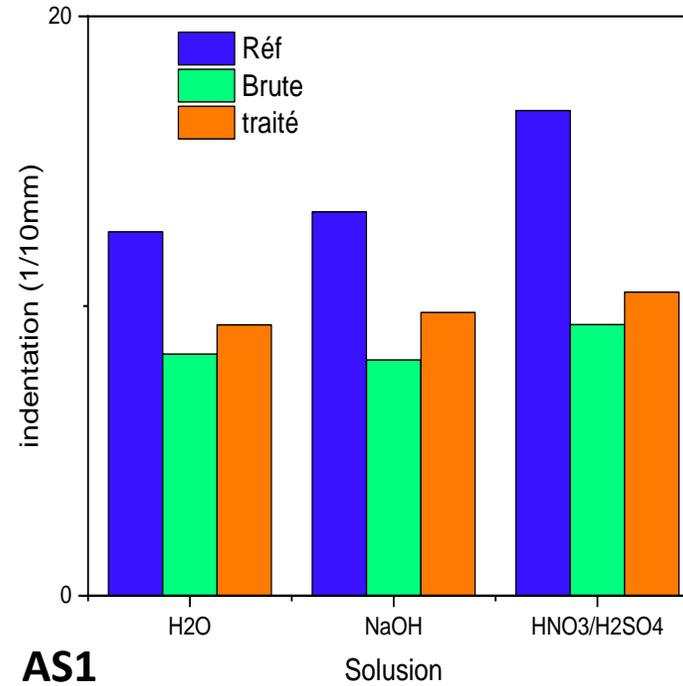
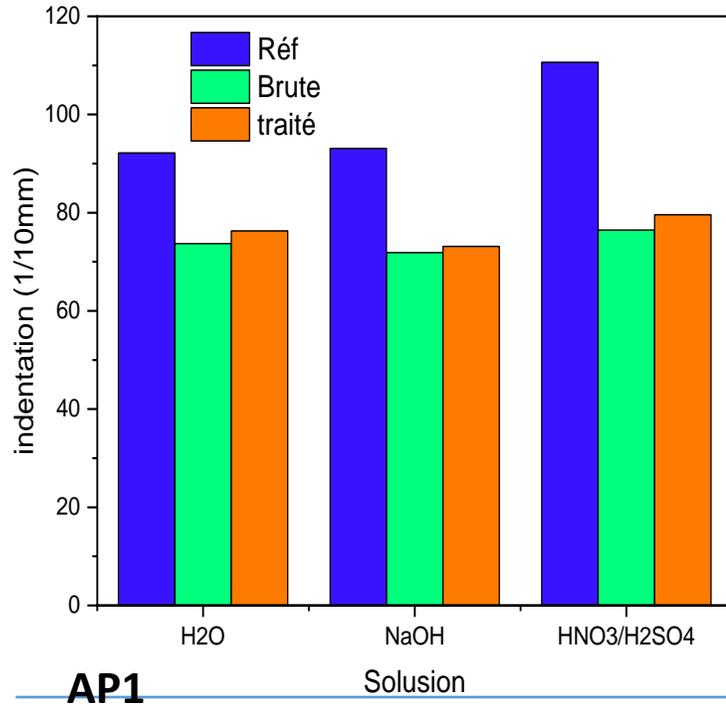
Courbe maitresse du module complexe et l'angle de phase à 35C° et 40C° des fillers ASL-ASLT avec le bitume 35/50 et 50/70(B)

Le comportement chimique de l'asphalte coulé

Type	PH	Solutions
Milieu référence	PH=7	Eau déminéralisée
milieu acide	PH=2	H ₂ SO ₄ et HNO ₃ (9 :1) mol
milieu Alcaline	PH=12	NaOH



Le comportement chimique de l'asphalte coulé



Indentation (1/10mm)

Type asphalte	AP1			AS1			AG1		
Traitement	R	B	T	R	B	T	R	B	T
NaOH	93,08	71,89	73,12	13,25	8,14	9,78	47,09	33,82	37,22
HNO3+H2SO4	110,64	80,45	79,58	16,75	9,36	10,48	59,12	43,51	47,17
H2O	92,17	73,71	76,45	12,56	8,34	9,35	48,78	32,17	35,32

Application	AP1	AS1	AG1
Plage indentation (1/10) mm	70 ≤ I ≤ 100	7 ≤ I ≤ 20	20 ≤ I ≤ 50

Revue bibliographique

01

Sédiments de dragage,
asphalte coulé
Enjeux de la gestion des
sédiments

Prise de décision

Les sédiments en substitution du filler

02

Caractérisation des sédiments
Traitement des sédiments
Formulation optimale

Conclusion
s

Caractérisation à l'état frais et durci

03

Deformation par Indentation
Analyse Dynamique mécanique
(DMA)

Bilan de l'étude

04

Le sédiment brut qui peut être
sélectionné pour la substitution est
le ASL
Le traitement thermique est le
mieux le plus efficace pour traité

Perspectives

**1**

Il est important de compléter ces études par étude approfondie de viscosité afin évalue la maniabilité de l'asphalte coulé

2

l'évaluation la mouillabilité l'angle de contact entre le liant et différent substrat d'agrégats dans les différentes conditions climatiques et environnementales

3

Etudier la microstructure de la matrice à base de fillers sédiment et autres grades de bitume à différentes conditions climatiques

4

Une étude à l'échelle nanométrique à travers la simulation dynamique moléculaire pour étudier l'adhérence et l'interface bitume–fillers sédiment.



Merci de votre attention