

Année / Semestre School year / Semester:	2022/2023 / Semestre : 05	
Classe / Cursus Class / Speciality:	B1C – TP1C	
Nom, prénom de l'enseignant / Identifiant Teacher's name, first name / ID:	Johan COLIN	
Matière Taught subject:	Ingénierie des Matériaux de construction	
Durée de l'évaluation Duration:	2H00	
Calculatrice autorisée Calculator allowed:	Oui (yes) <input checked="" type="checkbox"/>	Non (no) <input type="checkbox"/>
Documents autorisés Authorized documents:	Oui (yes) <input type="checkbox"/>	Non (no) <input checked="" type="checkbox"/>
Nom et prénom de l'apprenant Learner's name and first name:		

SUJET : Deux choix sont possibles : **choix A** OU **choix B**

Choix A :

- Toutes les questions de la première partie du sujet (question de cours) sont obligatoires.
- Deuxième partie :
 - Exercice II et exercice III sont obligatoires.
 - Choix possible entre exercice IV OU V.

Choix B :

- Trois questions sur les huit de la première partie du sujet (question de cours) sont obligatoires.
- Deuxième partie :
 - Exercices II, III, IV et V sont obligatoires.
 - Pas de choix possible.

Les consignes qui suivent doivent être respectées :

- Le choix retenu sera précisé en haut de la copie et bien encadré.
- *L'écriture doit être soignée et lisible.*
- *La résolution de chaque problème doit être finalisée par une droite horizontale d'une extrémité à l'autre de la copie*
- Calculatrice autorisée. Toute information enregistrée dans la calculatrice sauf celle liée à l'opération de faire un calcul est totalement interdite. Tout élève ne respectant pas cette consigne sera sanctionné.
- Les barèmes sont donnés à titre indicatif.

Première partie : questions de cours

(8pts)

I.1- Quel est parmi des deux types de ciments normalisés celui qui contient le maximum en cendres volantes. Justifier votre réponse.

- CEM II/B-V
- CEM II/B-W

I.2- Parmi ces deux ciments, quel est celui qui contient le plus de fumée de silice?

- CEM II/A-M
- CEM II/B-M

I.3- Quel est le rôle du gypse dans le procédé de fabrication du ciment. Donner sa formule selon la notation cimentière.

I.4- Quelle est la phase prédominante dans le clinker Portland ?

I.5- Donner la définition des termes suivants : matériau anhydre / pâte de ciment / mortier

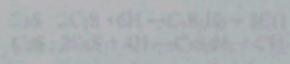
I.6- Définir le terme utilisé pour désigner la réduction volumique lors de la réaction d'hydratation du ciment ?

I.7- Définir le terme matériau cohésif dans le domaine des matériaux de construction.

I.8- Citer deux différences essentielles entre un liant hydraulique et un liant bitumineux.

Les procédés d'hydratation rapide de l'hydratation des phases cristallines sont le résultat de la présence de ces deux types de ciments. Les deux types de CEM II (A et B) sont constitués d'un mélange de C₃S et de la Portlandite, ainsi que de C₂A et de C₄AF. Ces deux phases influencent le taux de formation de l'hydratation et la microstructure finale de la pâte.

La réaction d'hydratation des phases C₃S et C₂A peuvent être résumées comme suit :



II.1- Décrivez à l'échelle des molécules le mécanisme d'hydratation d'un ciment Portland et ses conséquences. La réponse à cette question doit être structurée via à l'aide d'un schéma ou figure.

II.2- Décrivez brièvement les modes des processus de prise, hydratation, retrait, expansion, et autres phénomènes.

II.3- Quel est l'importance du rapport E/C, sur le choix de la formulation des matériaux de construction et sur les propriétés des matériaux formés.

II.4- Expliquez le processus de la prise de ciment en regard de la formation des liaisons chimiques qui se produisent (I.4)

Deuxième partie: série d'exercices (II, III, IV et V)

II- Analyse d'une fiche technique d'un ciment. (9pts)

L'étude porte sur le ciment CEM I 52,5 CE CP2 NF dont la fiche technique est jointe en fin du sujet.

II.1- Déterminer d'après les données de la fiche technique comment vous pouvez justifier les deux points suivants : sa classe de résistance et le type de ciment. **Toute réponse doit être justifiée.**

II.2- Calculer le rayon moyen (μm) des grains du ciment ? en supposant que les grains sont sphériques et mono dimensionnels. Justifier votre démonstration.

II.3- La fiche technique fournit des informations d'ordre physiques et chimiques. Que représente pour vous la donnée suivante : « **eau pâte pure en % =30,5** »

II.4- En partant d'un volume de pâte de 100cm^3 , calculer les données suivantes :

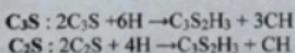
- Ciment : quantité et volume
- Eau : quantité et volume.

II.5- Donner les proportions (%) en phases minéralogiques du clinker portland. **Le calcul doit être réalisé par rapport à la quantité de ciment trouvée à la question précédente.**

III- Hydratation du clinker portland. (8pts)

Les produits d'hydratation issus de l'hydratation des phases minéralogiques vont se former en continu mais avec des cinétiques différentes. Les différents taux en C3S et C2S vont influencer l'évolution des C-S-H et de la Portlandite, alors que les taux de C3A et de C4AF vont plus influencer le taux de formation de l'ettringite et du monosulfoaluminate de calcium.

Les réactions d'hydratation des phases C3S et C2S peuvent être décrites comme suit.



III.1- Illustrer à l'échelle macroscopique le mécanisme d'hydratation d'un ciment portland et ses conséquences. **La réponse à cette question doit être courte : 4 à 5 lignes + diagramme ou figure.**

III.2- Décrire brièvement (les noms) des principaux hydrates formés de type : binaire, ternaire et quaternaire.

III.3- Quel est l'importance du rapport E/C sur le suivi de la réaction d'hydratation et de son impact sur les principaux produits formés.

III.4- Calculer la porosité de la pâte de ciment au temps t_0 et à t_{∞} en utilisant les données suivantes : **question II.4**

IV- Caractéristiques d'un liant bitumineux.

(5pts)

Nous disposons de 6 liants bitumineux de classe : 20/30, 30/45, 35/50, 50/70, 70/100 et 160/220. Les spécifications de ces bitumes sont rappelées dans le tableau 1.

Essais	Unités	Classes					
		20/30	30/45	35/50	50/70	70/100	160/220
Pénétrabilité 25°C	x0,1 mm	20-30	30-45	35-50	50-70	70-100	160-220
Point de ramollissement	°C	55-63	52-60	50-58	48-56	43-51	35-43

Tableau 1: Spécifications des bitumes routiers

IV.1- Donner la classe du bitume habituellement utilisée dans la fabrication d'un enrobé bitumineux tel que le BBSG. **Exprimer ces caractéristiques en termes de familles de molécules présentes et de résultats d'essais technologiques.**

IV.2- Les granulats d'agrégats d'enrobés (GAE) issus de recyclage d'enrobés bitumineux présentent en termes de composition une partie minérale et une partie propre au liant vieilli. Quelles sont les caractéristiques du liant vieilli et en particulier par rapport à sa classe ? **justifier votre réponse.**

IV.3- Quels sont les avantages en termes économiques et environnementaux d'utilisation de ces GAE dans la construction routière ?

V- Analyse d'une coupure granulaire.

(5pts)

Vous disposez à la fin du sujet d'une fiche technique récapitulant toutes les données propres à la coupure granulométrique du sable 0/4 semi concassé lavé. Nous nous intéressons aux données suivantes :

- Données granulométriques,
- Masse volumique
- Coefficient d'absorption.

V.1- A partir de l'analyse granulométrique et de son tracé, calculer le module de finesse du sable 0/4. Commenter la valeur obtenue. **Vous avez la possibilité d'utiliser la courbe fournie ou de refaire la courbe sur un papier fourni pour déterminer d'une manière plus précise le module de finesse. Attention au temps.**

V.2- Donner la valeur de la masse volumique (g/cm^3). **Quelle est l'importance de cette grandeur dans le domaine des matériaux de construction ?**

V.3- Quelle sera la quantité d'eau retenue dans ce matériau sachant que nous souhaitons fabriquer un matériau composite dosé en sable de : $680K/gm^3$.

Annexe NF EN 197-1 (extrait) : Tableau des résistances mécaniques

Les Liants hydrauliques

Les classes de résistance

Trois classes de résistance: 32.5, 42.5 et 52.5

Classe des ciments	Résistance à 2 jours	Résistance maximale à 28 jours
32,5		$\leq 52,5$
32,5R	$\geq 13,5$	$\leq 52,5$
42,5	$\geq 12,5$	$\leq 62,5$
42,5R	≥ 20	$\leq 62,5$
52,5	≥ 20	—
52,5R	≥ 30	—

Annexe NF EN 197-1 (extrait)

Tableau 1 — Les 39 produits de la famille des ciments courants

Principaux types	Notation des 39 produits (types de ciment courant)		Composition (pourcentage en masse ^a)											Constituants secondaires		
			Constituants principaux													
			Clinker	Laitier de haut fourneau	Fumée de silice	Pozzolanes		Cendres volantes		Schiste rubéfié	Craie					
						Naturels	Naturels calcinés	Siliceuse	Calcaire		L	LS				
K	S	D ^b	F	Q	V	W	T	L	LS							
CEM I	Ciment Portland	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Ciment Portland au laitier	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
CEM II	Ciment Portland à la fumée de silice	CEM II/A-G	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Ciment Portland à la pozzolane	CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-P	85-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-Q	85-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Ciment Portland aux cendres volantes	CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-V	85-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-W	85-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5	
	Ciment Portland au schiste rubéfié	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-T	85-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5	
		CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5	
		CEM II/B-L	85-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5	
	Ciment Portland au craie	CEM II/A-L1	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5	
		CEM II/B-L1	85-79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5	
		Ciment Portland composé ^c	CEM II/A-M	80-88	-	-	-	-	-	-	-	12-20	-	-	-	0-5
			CEM II/B-M	85-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
			CEM II/C/M (B-P)	50-64	16-44	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
			CEM II/C/M (B-V)	50-64	16-44	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
			CEM II/C/M (B-L)	50-64	16-44	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5
CEM II/C/M (B-S1)			50-64	16-44	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5	
CEM II/C/M (P-L)			50-64	-	-	16-44	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5	
CEM II/C/M (P-L1)			50-64	-	-	16-44	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5	
CEM II/C/M (V-L)			50-64	-	-	-	-	16-44	-	-	-	-	6-20	-	0-5	
CEM II/C/M (V-L1)			50-64	-	-	-	-	16-44	-	-	-	-	-	6-20	0-5	
CEM III	Ciment de haut fourneau	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM III/D	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
CEM IV	Ciment pouzzolanique ^d	CEM IV/A	65-80	-	-	11-25	-	-	-	-	-	-	-	0-5		
		CEM IV/B	45-64	-	-	-	16-51	-	-	-	-	-	-	0-5		
CEM V	Ciment pouzzolanique au laitier ^d	CEM V/A	40-64	10-30	-	10-30	-	-	-	-	-	-	-	0-5		
		CEM V/B	20-30	31-49	-	31-49	-	-	-	-	-	-	-	0-5		
CEM VI	Ciment composé ^e	CEM VI (E-P)	35-49	31-59	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5		
		CEM VI (E-V)	35-49	31-59	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5		
		CEM VI (E-L)	35-49	31-59	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5		
		CEM VI (E-L1)	35-49	31-59	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5		

^a Les valeurs indiquées au tableau se réfèrent à la somme des constituants principaux et secondaires.

^b La proportion de fumée de silice est limitée de 6% à 10%.

^c Dans les cas des ciments Portland composé CEM II/A-M, CEM II/B-M et CEM II/C-M, des ciments pouzzolaniques CEM IV/A et CEM IV/B, des ciments pouzzolaniques au laitier CEM V/A et CEM V/B et des ciments composé CEM VI, les constituants principaux autres que le clinker doivent être déclarés dans la désignation du ciment (voir des exemples à l'Article 6).

Matière : Ingénierie des Matériaux de construction

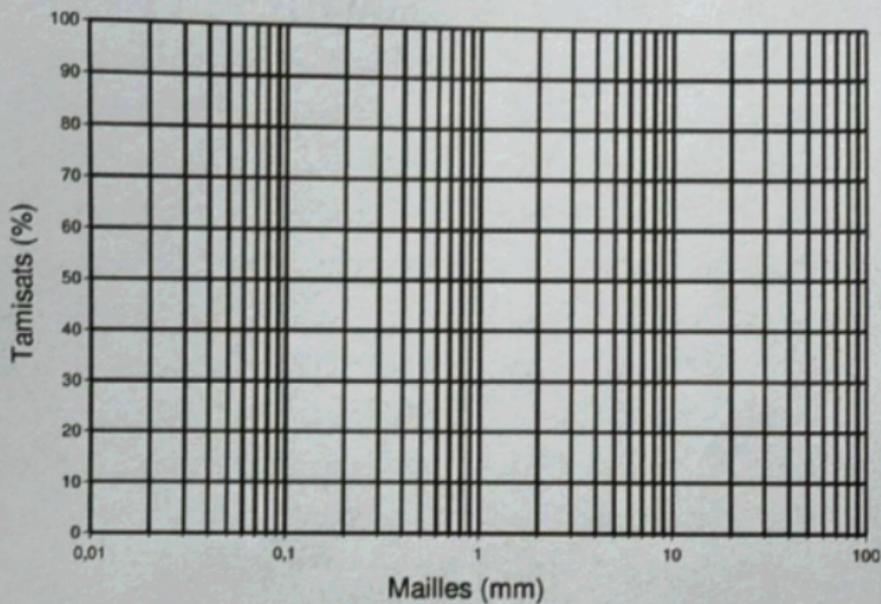
$$\boxed{\pi F = 2,52}$$

$$+ 0,36 + 0,1 + 0,01$$

$$(0,99 + 0,9 + 0,66 + 0,5 + 0,27 + 0,1) \rightarrow 0,9 + 0,73 + 0,5$$

Courbe granulométrique

$$\pi F = \frac{\sum \text{petits unités} (5 - 2,5 - 1,75 - 10,63 - 0,025 - 0,16)}{100}$$



Première partie

I.3/ Dans le procédé de fabrication du ciment, le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) joue le rôle de régulateur de prise. Ainsi, il régule le temps de prise du ciment permettant une meilleure mise en oeuvre du béton.

I.4/ La phase prédominante dans le ciment Portland est le silicate tricalcique C_3S .

I.6/ Le retrait chimique est la diminution du volume total du système (ciment + eau) en cours de l'hydratation, due à la densité plus élevée des produits hydratés par rapport aux matériaux de départ.

I.7/ Un matériau cohésif est un matériau dont les p^{ts} sont naturellement liés entre elle par des forces internes de cohésion suffisamment importante pour lui conférer une certaine stabilité mécanique et une capacité à résister aux déformations sans nécessiter de liaisons externes.

<u>I.8/</u>	Critères	Liant hydraulique	Liant bitumineux
	Durcissement	chimique (hydratation avec l'eau)	physique (adsorption ou avec l'eau)
	Comportement vis-à-vis de l'eau	Résistant après durcissement	Sensible à l'humidité et à l'eau

Deuxième partie : Exercices

II/ Analyse d'une fiche technique d'un ciment