

Chapitre IV: Résultats et Interprétation

IV -1 Introduction

Dans ce chapitre; on présente les différents résultats expérimentaux des essais effectués sur les différents composants du ciment anhydre, les mortiers, suivi par des discussions et interprétations basés sur la littérature.

IV -2 Facteurs de Qualité du Clinker

IV -2-1 Broyabilité du clinker

D'après le Tableau (4-1), le clinker de la cimenterie Lafarge M'sila de Hamam Dalaâ a une broyabilité plus aisée (grand plus la broyabilité demande moins d'énergie) ce qui favorise l'obtention d'une granulométrie plus fine avec un rendement énergétique favorable.

Nature du clinker	Clinker de Lafarge de M'silH/Dalaâ
broyabilité de clinker	2850 cm ² /g

Tableau 4-1 Broyabilité du clinker.

IV -2-2 Résistance au choc Clinker (Essai Los Angeles)

Principe de l'es

Faire rouler dans un tambour rotatif un échantillon de granulat mélangé à des boulets d'acier. À la fin, on évalue la quantité de matériau retenu sur le tamis de 1,6 mm.

Préparation de l'échantillon à essayer

La masse de l'échantillon doit être égale à 15 kg au minimum de la classe granulaire 10mm à 14mm.

L'essai doit être effectué sur un granulat passant au tamis de 14 mm et retenu sur celui de 10 mm. En plus la courbe granulométrique de l'échantillon doit répondre à l'une des exigences suivantes :

a) 60 % à 70 % de passant sur un tamis de 12,5 mm ; ou

b) 30 % à 40 % de passant sur un tamis de 11,2 mm.

Tamiser l'échantillon pour laboratoire sur les tamis de 10 mm, 11,2 mm (ou 12,5 mm) et 14 mm pour obtenir des classes granulaires séparées 10 mm à 11,2 mm (ou 12,5 mm) et 11,2 mm



(ou 12,5 mm) à 14 mm. Laver chaque fraction séparément, conformément à l'article 6 de l'EN (933-1:1997), et sécher les dans l'étuve à $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ jusqu'à masse constante.

Laisser refroidir à température ambiante. Mélanger les deux fractions pour obtenir un échantillon pour laboratoire modifié 10 mm à 14 mm conforme aux proportions données ci-dessus.

La masse de l'échantillon pour essai doit être égale à $(5\,000 \pm 5)$ g.

Mode opératoire

Vérifier que le tambour soit propre avant d'y mettre l'échantillon. Placer avec précaution les boulets dans la machine, puis y introduire la prise d'essai. Remettre le couvercle et faire faire 500 tours à la machine, à une vitesse constante de 31 tr/min à 33 tr/min.

Verser le granulat sur un plateau placé sous l'appareil en veillant à éviter toute perte de matériau. Vider le tambour et le nettoyer soigneusement en éliminant toutes les fines, surtout autour de la plaque saillante. Enlever soigneusement les boulets du plateau en veillant à ne perdre aucune particule du granulat.

Analyser le matériau recueilli sur le plateau conformément à l'EN 933-1:1997, par lavage et tamisage au tamis à 1,6 mm. Sécher le refus à 1,6 mm à une température de $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$, jusqu'à obtention d'une masse constante.

Calcul et expression des résultats

Calculer le coefficient Los Angeles LA à partir de l'équation suivante :

$$LA = \frac{5000 - m}{50}$$

où :

m est la masse du refus à 1,6 mm, en grammes.

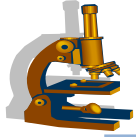
Enregistrer le résultat arrondi à l'unité la plus proche.



Figure 4-1 Appareil pour Essai Los Angeles.

Désignation de l'essai	Fraction testée	Résultats obtenus	observation
Essai los Angeles	clinker	LA = 36 %	Dureté moyenne

Tableau 4-2 Analyse de granulats clinker



D'après le Tableau (4-2), on constate que le clinker utilisé dans cette étude présente une bonne facilité de broyage (dureté moyenne).

IV-3 Influence du Taux d'ajout argile cuite Sur le Poids Spécifique du Ciment

Les résultats du Tableau (4-3) et la Figure (4-2) présentent l'effet de l'addition d'ajout argile cuite sur le poids spécifique du ciment ou densité du ciment.

A la lumière des essais réalisés, les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- Une réduction du poids spécifique avec l'augmentation du pourcentage d'ajout argile cuite dans le ciment.

- augmentation des temps (début et fin) de prise

Selon les résultats obtenus, on note que l'augmentation de la quantité de l'ajout argile cuite incorporé dans le ciment à un effet significatif sur le poids spécifique de ciment.

Finesse visé (cm ² /g)	Types des Ciments	CEM Témoin CPA 0%	CEM 01 05%	CEM 02 10%	CEM 03 15%	CEM 04 20%
4000 cm ² /g	Masse volumique (g/cm ³)	3.15	3.11	3.08	3.06	3.00
4500 cm ² /g	Masse volumique (g/cm ³)	3.15	3.12	3.07	3.05	2.98

Tableau 4-3 Poids spécifique des ciments préparés.

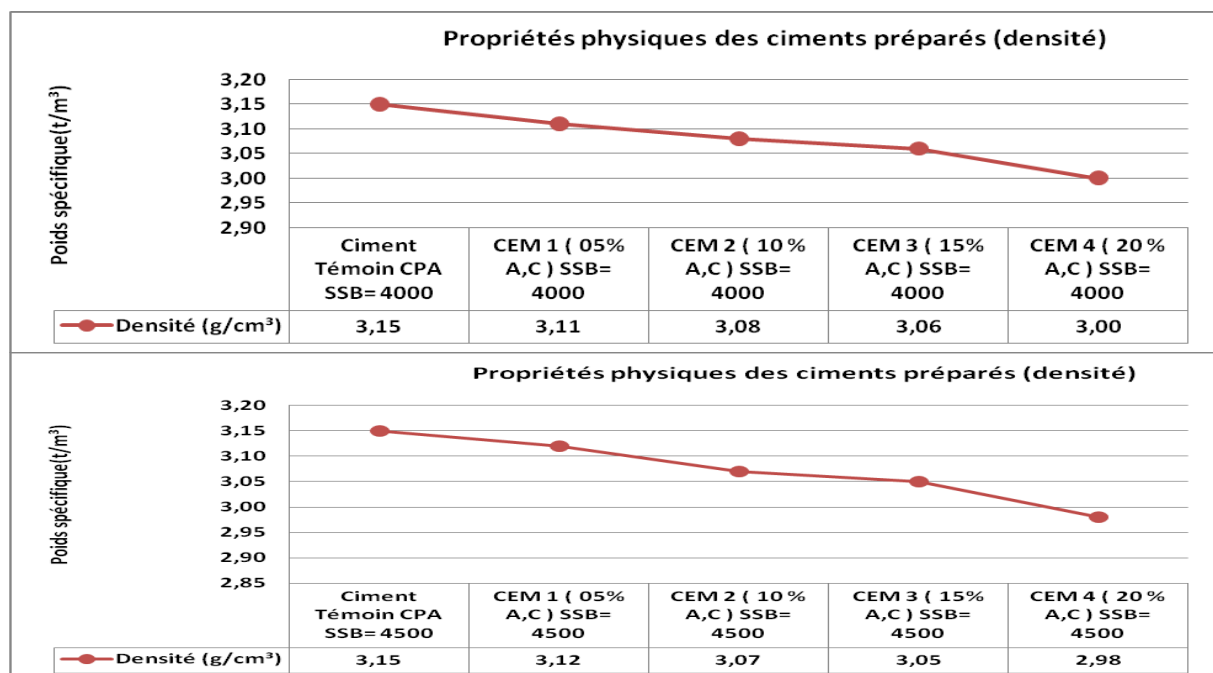
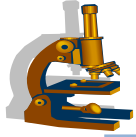


Figure 4-2 Variation du poids spécifique de ciment en fonction de taux d'ajout (argile cuite).

Selon les résultats obtenus (Figures 4-2), on note que l'augmentation du pourcentage de l'ajout (argile cuite) incorporé dans le ciment a l'effet suivant:

- Diminution du poids spécifique de ciment en fonction de taux d'ajout (argile cuite) et la finesse de ciment. Cela revient en premier lieu à la différence de la masse volumique élevée du clinker par rapport à celui de l'argile cuite, et secondo à la masse spécifique du ciment en minimisant les vides entre les particules.



IV-4 Influence du Taux d'ajout argile cuite Sur la Surface Spécifique du Ciment

Les résultats du Tableau (4-4) et la Figure (4-3) présentent l'effet de l'addition d'ajout argile cuite sur la surface spécifique du ciment.

Les Conclusions suivantes peuvent être tirées :

- Une augmentation de la surface spécifique avec l'augmentation du pourcentage d'ajout argile cuite dans le ciment. Selon les résultats obtenus, voir tableau (4-4), on note que l'augmentation de la quantité de l'ajout argile cuite incorporé dans le ciment à un effet significatif sur le surface spécifique (Blaine) de ciment.

Finesse visé (cm ² /g)	Type de ciment	CEM Témoin CPA 0%	CEM 01 05%	CEM 02 10%	CEM 03 15%	CEM 04 20%
4000 cm ² /g	SSB (cm ² /g)	4000	4040	4060	4080	4090
4500 cm ² /g	SSB (cm ² /g)	4500	4500	4510	4520	4530

Tableau 4-4 Surface spécifique des ciments préparés.

Ceci-ci peut être dû à la porosité créée par la substitution partielle du clinker par argile cuite (taux de substitution de argile cuite) et la densité de l'ajout. (densité de argile cuite = 2.63).

- A la même durée du broyage la finesse augmente de façon graduel vis-à-vis au ciment témoin, cela revient à facilité d'écrasement des particules de l'argile cuite

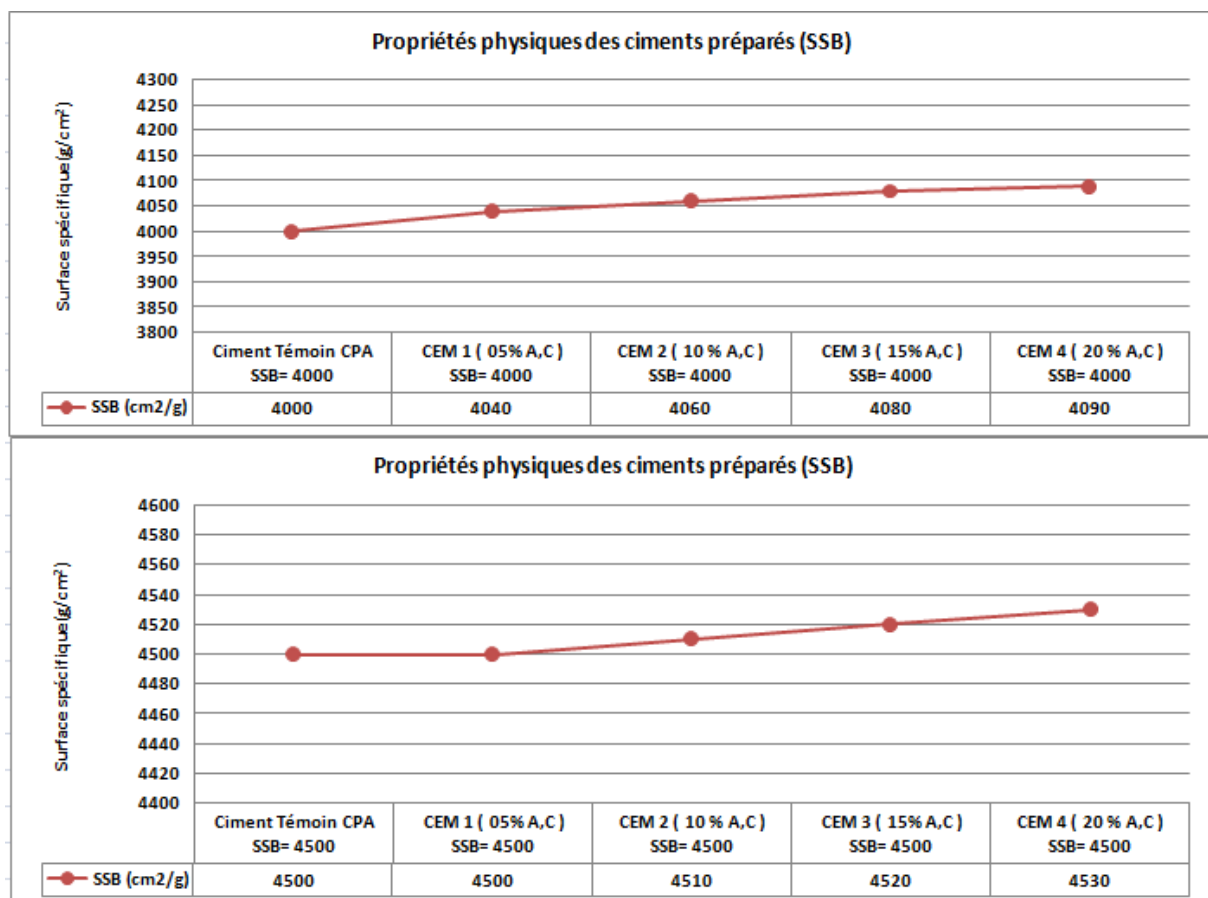
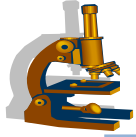


Figure 4-3 Variation de la surface spécifique de ciment en fonction de taux d'ajout (argile cuite).



IV-5 Influence du Taux d'ajout argile cuite Sur la Pâte de Ciment

IV-5-1 Influence du taux d'ajout argile cuite Sur la Consistance Normale

Les résultats expérimentaux obtenus (Tableau 4-5 et Figures 4-4) présentent l'effet du taux d'ajout (argile cuite) sur la consistance normale de ciment.

La demande de l'eau des pâtes de ciments préparées avec les différents pourcentages d'ajout argile cuite: (0%, 5%, 10%, 15%, 20%) et différent finesse a visée est mesurée en utilisant l'essai d'aiguille de Vicat manuel.

	Finesse visé 4000 (cm ² /g)					Finesse visé 4500 (cm ² /g)				
Consistance Normale	CEM Témoin CPA 0%	CEM 01 05%	CEM 02 10%	CEM 03 15%	CEM 04 20%	CEM Témoin CPA 0%	CEM 01 05%	CEM 02 10%	CEM 03 15%	CEM 04 20%
E/C (%)	24.6	24.8	25.2	25.4	25.6	25	25.1	25.4	26	26.4

Tableau 4-5 Propriétés physiques des ciments préparés (Consistance normale).

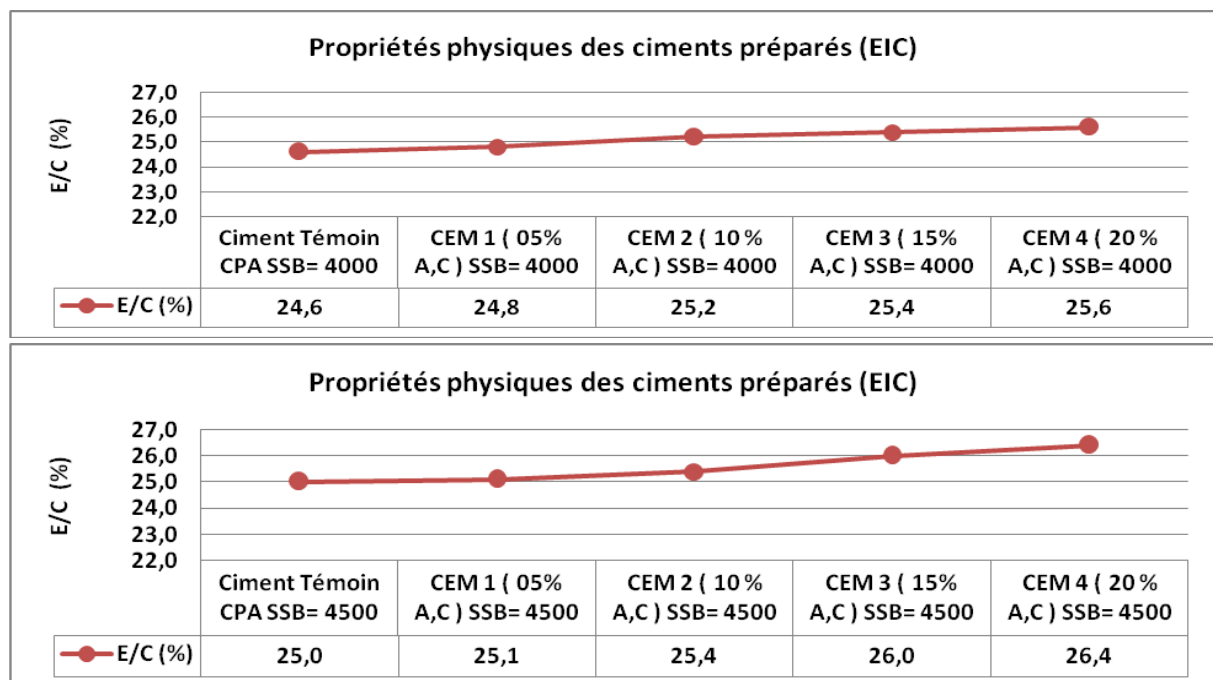
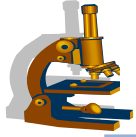


Figure 4-4 Variation du Rapport E/C (Consistance normale) en fonction du taux d'ajout (argile cuite).

L'influence de la quantité de l'ajout (argile cuite) sur la pâte de ciment est exprimée par les variations du rapport de demande en eau pour obtenir une consistance normale.

Selon les résultats obtenus (Figures 4-4), on note que l'augmentation du pourcentage de l'ajout (argile cuite) incorporé dans le ciment a l'effet suivant:

- augmentation de la quantité d'eau requise pour avoir une consistance normale de la pâte de ciment à cause de la finesse qui demande un Exe graduel d'eau.



IV-5-2 Influence du Taux d'ajout argile cuite sur le Temps de Prise

Les résultats expérimentaux obtenus (Tableau 4-6 et Figures 4-5) présentent l'effet du taux d'ajout (argile cuite) sur le temps de prise de la pâte de ciment.

L'essai consiste à suivre l'évolution de la viscosité de la pâte en utilisant l'appareil de Vicat automatique.

	Finesse visé 4000 (cm ² /g)					Finesse visé 4500 (cm ² /g)				
Temps de Prise	CEM Témoin CPA 0%	CEM 01 05%	CEM 02 10%	CEM 03 15%	CEM 04 20%	CEM Témoin CPA 0%	CEM 01 05%	CEM 02 10%	CEM 03 15%	CEM 04 20%
Début de prise (min)	145	185	190	205	210	140	190	200	210	215
Fin de prise (min)	210	255	267	280	290	205	260	273	286	300

Tableau 4-6 Propriétés physiques des ciments préparés (Temps de Prise).

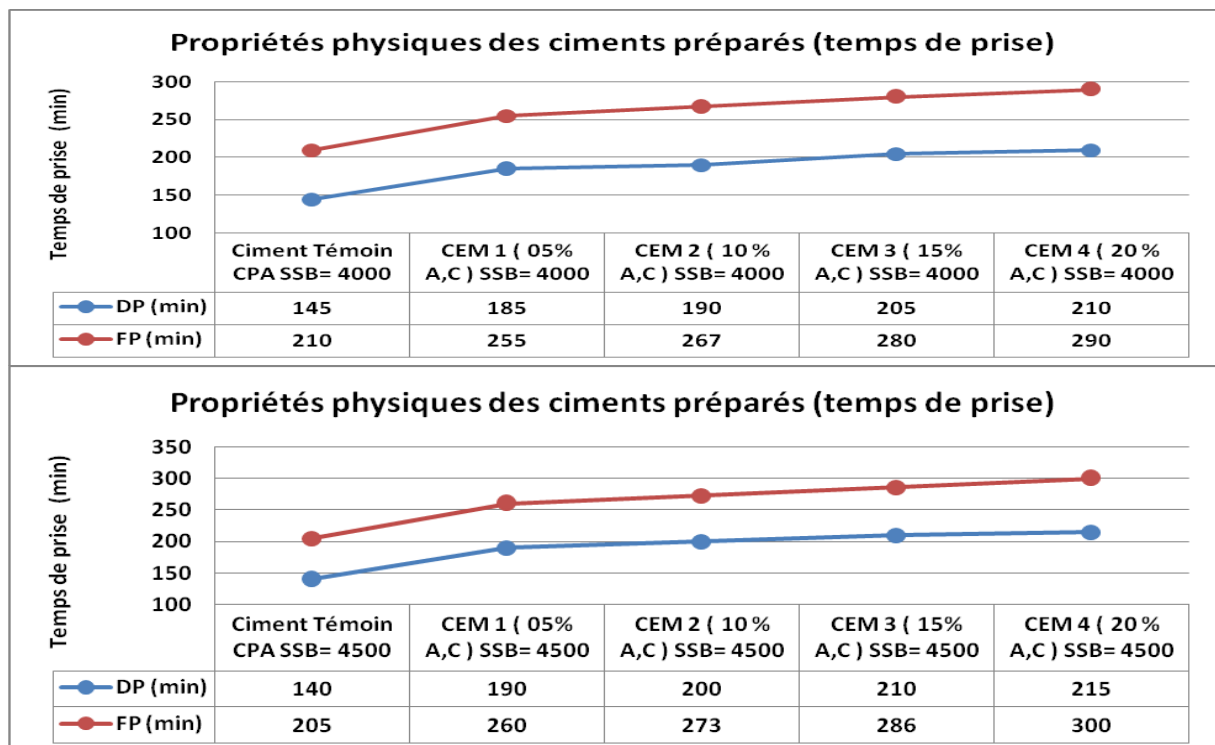
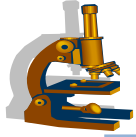


Figure 4-5 Variation des Temps de prises en fonction de taux d'ajout (argile cuite)

Selon les résultats obtenus (Figures 4-5), on note que l'augmentation du pourcentage de l'ajout argile cuite incorporé dans le ciment a l'effet suivant:

- augmentation des temps de début et fin de prise.
- réduction de la marge de temps entre le début et fin de prise.

**Interprétation :**

Avec l'augmentation du pourcentage d'argile cuite par substitution, le temps de prise augmente ce qui nous explique que l'argile cuite fait plus de temps pour l'absorption de l'eau de gâchage à cause des particules fines.

La réduction du temps entre début et fin prise pour les deux finesses ' s'explique par l'absorption rapide de l'eau de gâchage.

IV-5-3 Influence du Taux d'ajout argile cuite Sur la Stabilité du Ciment :

Les résultats du (Tableau 4-7 et la Figure 4-6) indiquent que l'expansion à chaud (hydratation accéléré par traitement thermique à 100c°) augmente avec l'augmentation du taux d'argile cuite d'une façon relativement linéaire et n'a pas d'effet significatif sur la stabilité du ciment et reste inférieure à la limite maximale imposée par la norme EN 196-3 qui est de 10 mm.

Cette augmentation de l'expansion peut être expliquée par la présence d'impuretés ainsi que d'autres éléments tels que le MgO qui sont préjudiciables au ciment et qui donnent généralement une expansion plus élevée.

	Finesse visé 4000 (cm ² /g)					Finesse visé 4500 (cm ² /g)				
Stabilité du Ciment	CEM Témoin CPA 0%	CEM 01 05%	CEM 02 10%	CEM 03 15%	CEM 04 20%	CEM Témoin CPA 0%	CEM 01 05%	CEM 02 10%	CEM 03 15%	CEM 04 20%
Expansion à chaud (mm)	1.5	2	2	2.5	2.5	1.5	1.5	2	2	2.5

Tableau 4-7 Propriétés physiques des ciments préparés (Expansion de Chatelier).

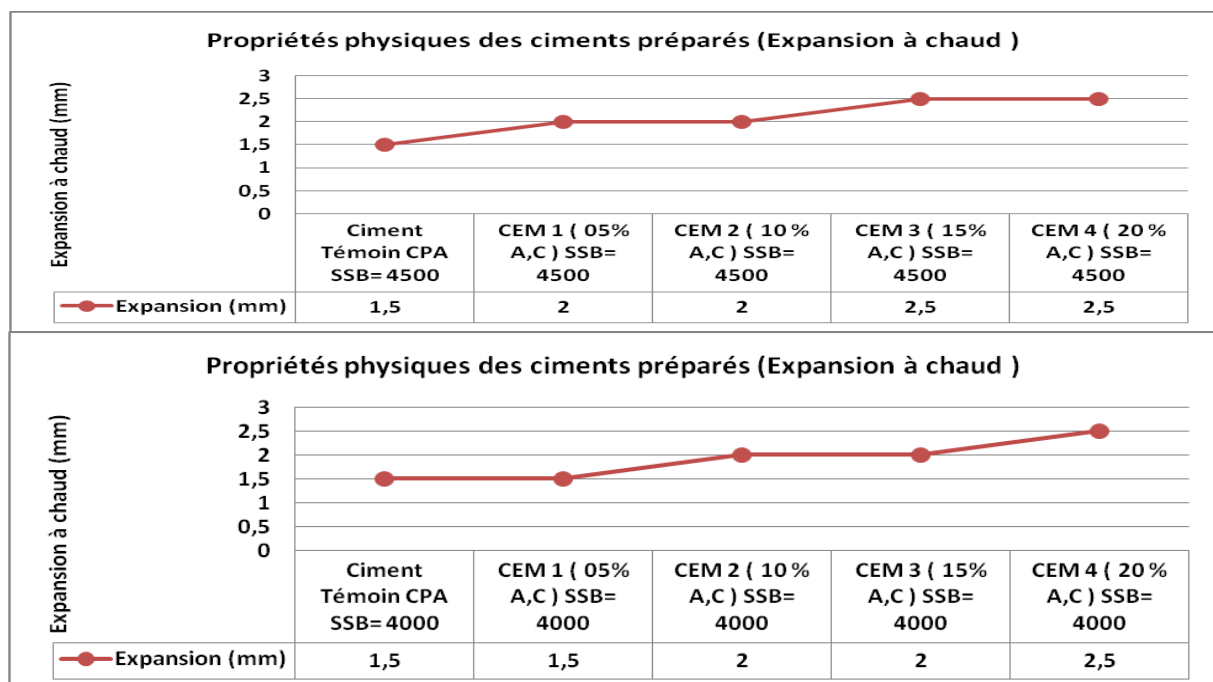
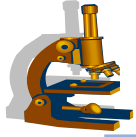


Figure 4-6 Effet du taux d'ajout argile cuite sur l'expansion du ciment.



IV-5-4 Influence du Taux d'ajout argile cuite sur les Teneurs en Oxydes :

Le Tableau (4-8) et la Figure (4-7 et 4-8) représentent la variation des taux des principaux oxydes (la silice, la chaux, le fer, l'alumine) ainsi que la perte au feu) dans le ciment en fonction du taux d'ajout argile cuite.

Teneurs en Oxydes du Ciment	CEM Témoin CPA 0%	CEM 01 05%	CEM 02 10%	CEM 03 15%	CEM 04 20%
SiO ₂	20.06	23.27	25.59	28.25	32.24
Al ₂ O ₃	4.84	5.49	5.95	6.49	7.1
Fe ₂ O ₃	3.4	3.87	4.25	4.77	5.47
CaO	60	59.91	59.07	58.11	57.27
MgO	1.6	1.63	1.63	1.61	1.58
SO ₃	2.52	2.55	2.68	2.75	2.78
Per f	0.78	1.05	1.07	1.01	0.81

Tableau 4-8 Influence du Taux d'ajout argile cuite sur les Teneurs en Oxydes

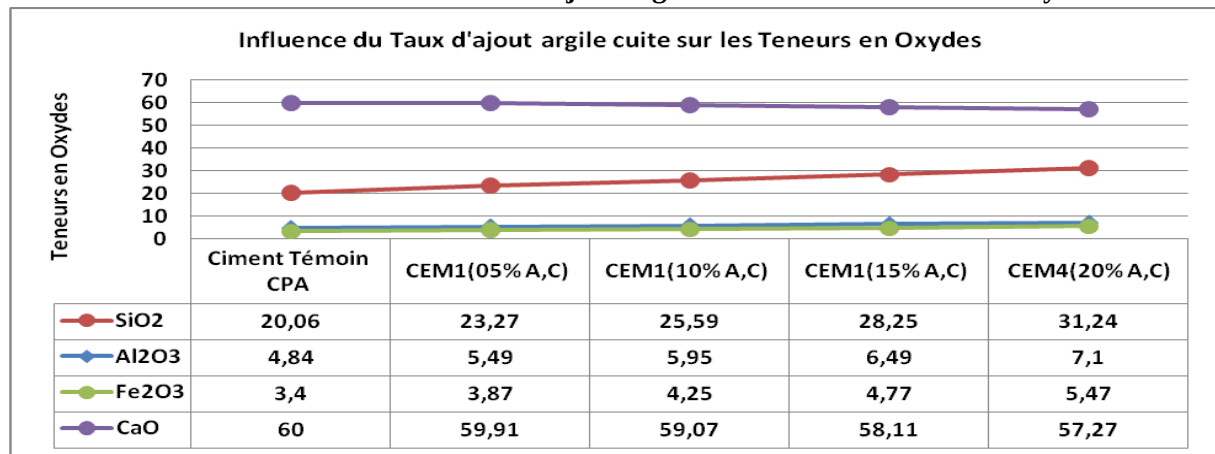


Figure 4-7 Variation de la teneur des oxydes en fonction du taux d'ajout d'argile cuite

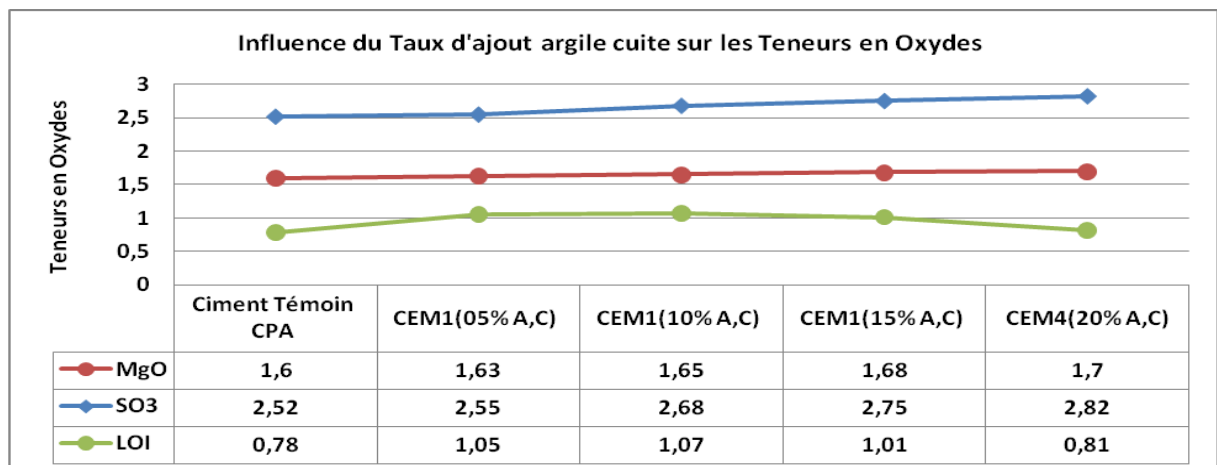
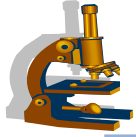


Figure 4-8 Variation de la teneur des oxydes en fonction du taux d'ajout d'argile cuite

La chaux (CaO), la perte au feu (P.F) diminuent.

Le taux d'oxyde de (SiO₂, Al₂O₃, MgO, SO₃, Fe₂O₃) augmentent et ce proportionnellement avec l'augmentation du taux d'ajout argile cuite .



IV-6 Influence du Taux d'ajout argile cuite Sur Le Mortier à base de sable Normalisé

IV-6-1 Résistance à la Compression

Le Tableau (4-9) et la Figure (4-9 et 4-10) montrent le développement des performances des mortiers contenant différents pourcentages du taux d'ajout (argile cuite) par substitution (remplacement partiel du ciment par le argile cuite) dans le ciment (effet chimique) en fonction des différents âges.

	Résistance à la Flexion et Compression des Ciment (MPa)									
Types de ciment	Finesse visé 4000 (cm ² /g)					Finesse visé 4500 (cm ² /g)				
	CEM Témoin CPA 0%	CEM 01 05%	CEM 02 10%	CEM 03 15%	CEM 04 20%	CEM Témoin CPA 0%	CEM 01 05%	CEM 02 10%	CEM 03 15%	CEM 04 20%
Rf 02 jours	5.2	5	4.9	4.8	4.4	5.3	5.2	5	4.9	4.7
Rc 02 jours	28.1	24.2	23	21.9	20.6	28.6	25.3	23.8	22.7	21.5
Rf 07 jours	7.5	7.1	6.9	6.8	6.5	7.5	7.2	7	6.8	6.6
Rc 07 jours	44.5	40.5	39.3	38.2	36.9	45.1	41.6	40.1	39	37.8
Rf 14 jours	8	7.8	7.7	7.6	7.5	8.1	7.9	7.7	7.6	7.5
Rc 14 jours	50.2	45.9	44.7	43.6	42.3	50.6	47	45.5	44.4	43.2
Rf 28 jours	8.8	8.5	8.4	8.3	8.2	9	8.7	8.6	8.5	8.2
Rc 28 jours	59.6	55.8	54.6	53.5	52.2	59.8	56.9	55.4	54.3	53.1

Tableau 4-9 Evolution des Résistances à la Compression et à la flexion du Mortier en fonction du taux d'ajout argile cuite (sable normalisé).

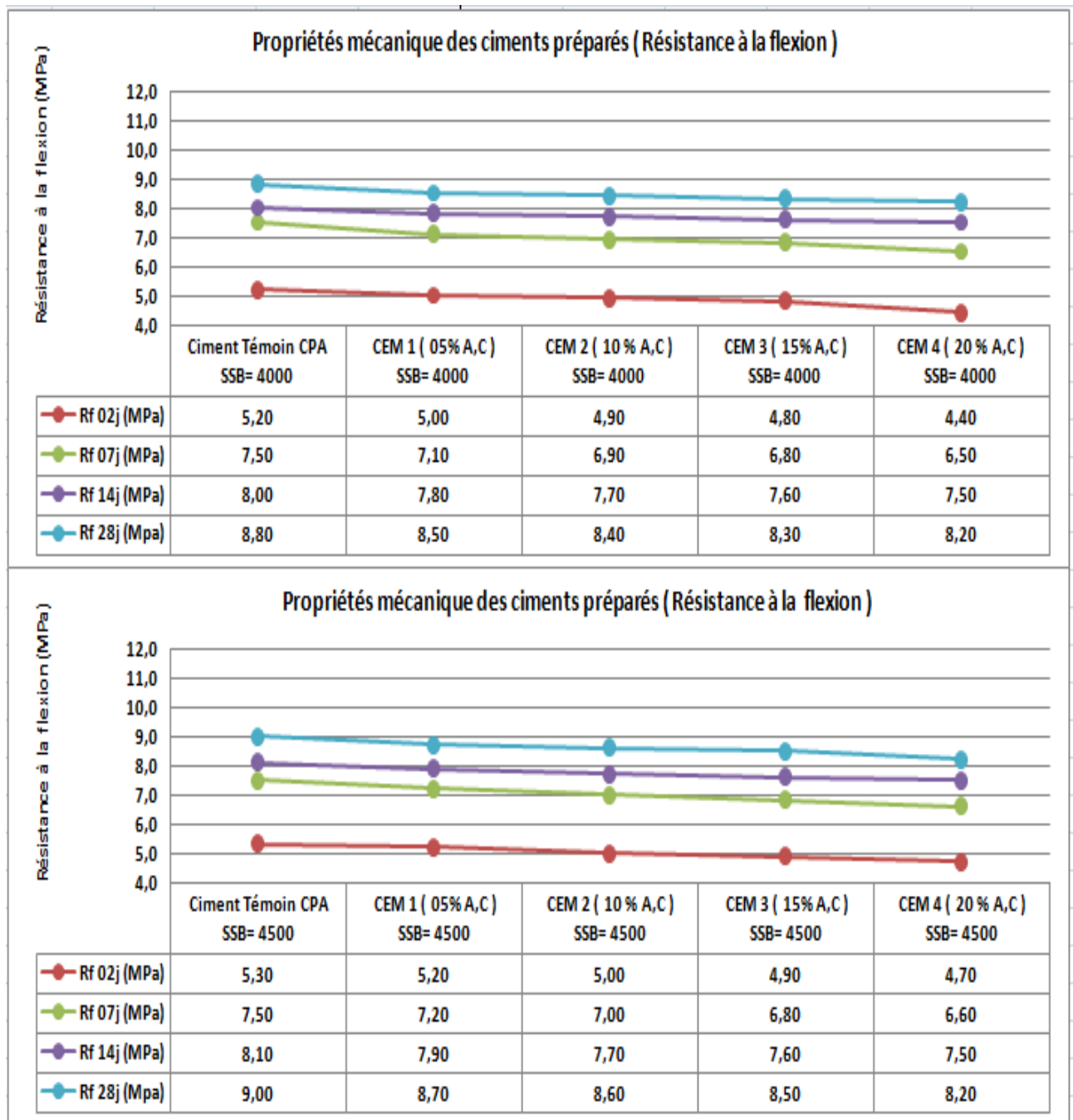
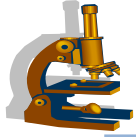


Figure 4-9 Effet du Taux d'ajout argile cuite sur la Résistance à la flexion.

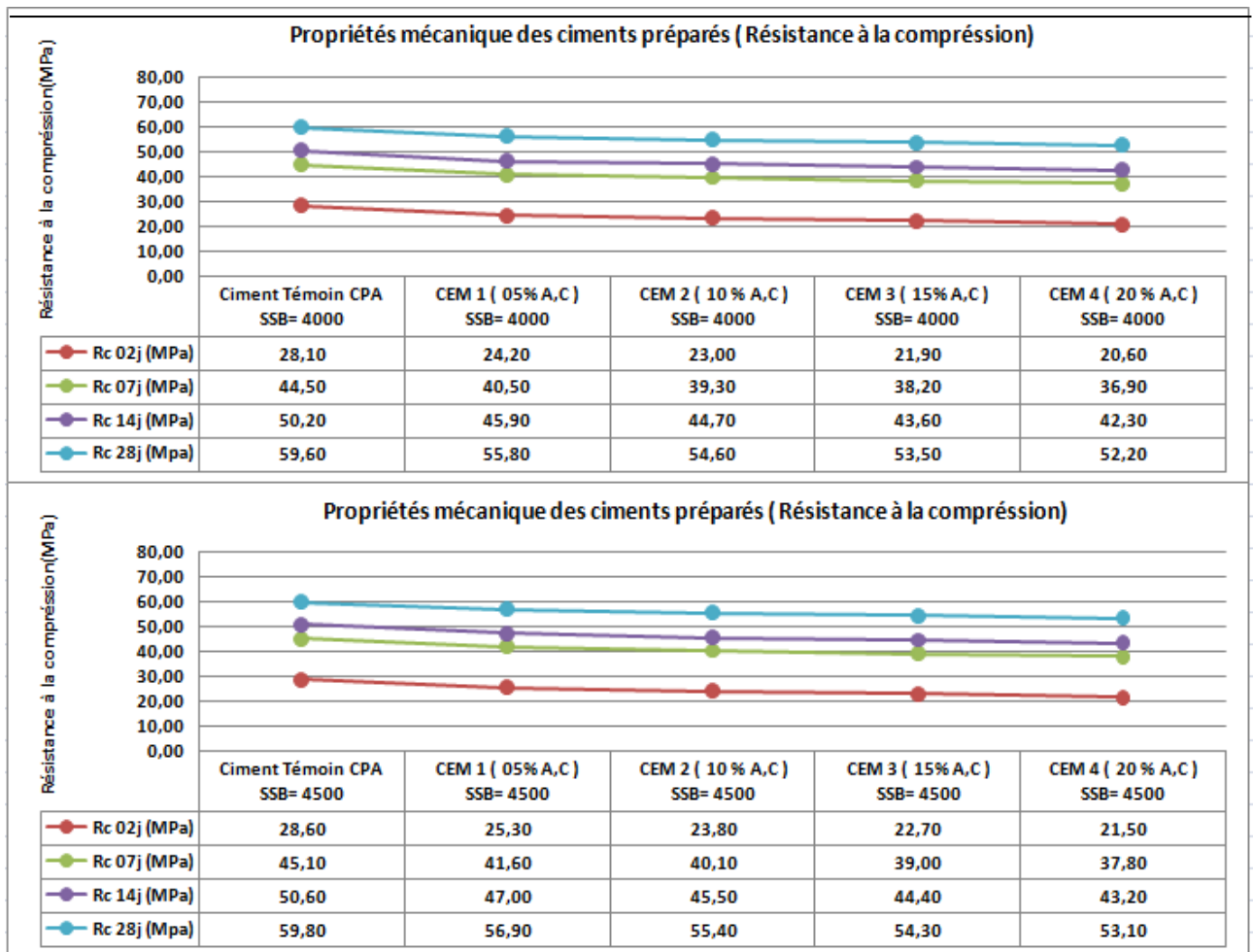
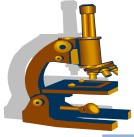


Figure 4-10 Effet du Taux d'ajout argile cuite sur la Résistance à la Compression.

On remarque que les résistances de tous les mortiers diminué régulièrement.

Cette diminution de la résistance est considérable surtout au jeune âge et diminue lorsque le pourcentage de l'ajout augmente.

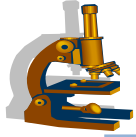
A long terme, on a constaté une augmentation de résistance graduel.

Cette diminution de la résistance est due au fait que la réaction chimique n'est pas prédominante aux jeunes âges, ceci mène à une hydratation du minéral C_3S (silicate tricalcique) et C_2S (silicate bi calcique) moins intense aux jeunes âges en induisant de faibles résistances.

Ces derniers sont les deux principaux minéraux qui assurent le développement des résistances à court et à moyen terme.

Cette réduction est due aux pourcentages d'ajout qui influe sur le processus d'hydratation " effet chimique" et la mauvaise calcination d'argile cuite (recristallisation) qui la rend moins réactive et par conséquent une faible production des C-S-H secondaire pendant la réaction d'hydratation chimique.

En effet, en présence d'eau, les composés principaux du clinker à savoir: C_3S , C_2S , C_3A et C_4AF réagissent suivant des réactions qui produisent de grandes quantités de chaux hydraté appelée Portlandite.



IV-7 Effet du Taux d'ajout argile cuite (effet chimique) Sur Le Retrait et Le Gonflement :

La variation du retrait et du gonflement du mortier normal en fonction de l'ajout argile cuite sont représentées dans les Tableaux (4-10 et 4-11) et le Figure (4-11 et 4-12).

D'après les résultats obtenus, on peut affirmer que tous les ciments étudiés provoquent un faible retrait et gonflement sur les mortiers étudiés.

	Retrait du Mortier normal en fonction du taux d'ajout (argile cuite)									
Types de ciment	Finesse visé 4000 (cm ² /g)					Finesse visé 4500 (cm ² /g)				
	CEM Témoin CPA 0%	CEM 01 05%	CEM 02 10%	CEM 03 15%	CEM 04 20%	CEM Témoin CPA 0%	CEM 01 05%	CEM 02 10%	CEM 03 15%	CEM 04 20%
Retrait à 03 Jours (µm/m)	93.5	120.2	125.5	136.5	145.7	94.5	134.2	162.2	172.5	179.8
Retrait à 07 Jours (µm/m)	192.2	211.2	222.2	235.5	252	200	232.2	245.5	268.12	302.1
Retrait à 28 Jours (µm/m)	570.2	574.4	585.5	612.5	622.5	579.5	574.5	582.5	632.2	696.6

Tableau 4-10 Retrait du Mortier normal en fonction du taux d'ajout (argile cuite).

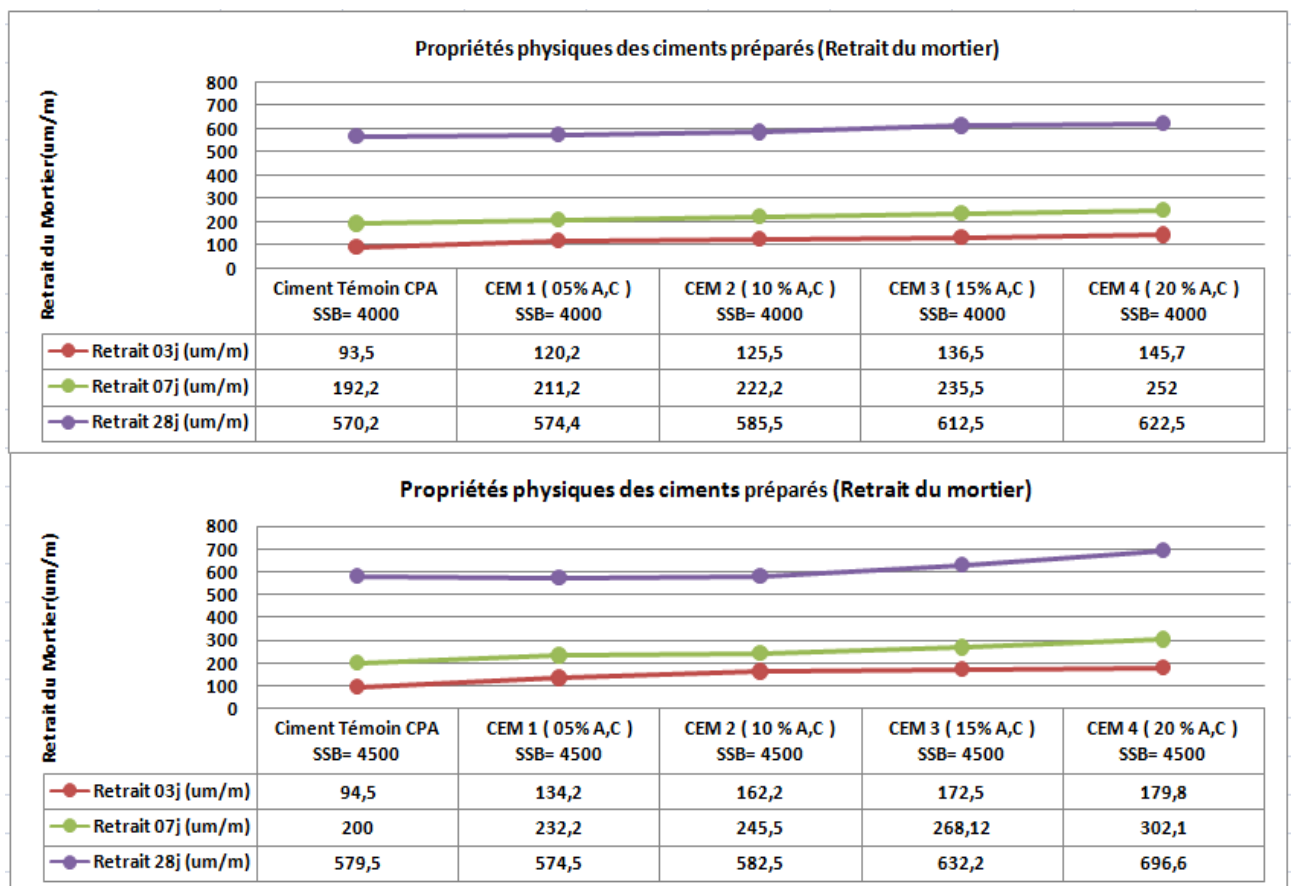
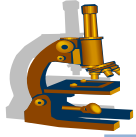


Figure 4-11 Evolution du Retrait du mortier en fonction du taux d'ajout argile cuite



Types de ciment	Gonflement du Mortier normal en fonction du taux d'ajout (argile cuite)									
	Finesse Visé 4000 (cm ² /g)					Finesse Visé 4500 (cm ² /g)				
	CEM Témoin CPA 0%	CEM 01 05%	CEM 02 10%	CEM 03 15%	CEM 04 20%	CEM Témoin CPA 0%	CEM 01 05%	CEM 02 10%	CEM 03 15%	CEM 04 20%
Gonflement à 03 Jours (µm/m)	18.5	30.3	41.2	56.5	66.2	22.2	44.2	55.2	60.2	70.2
Gonflement à 07 Jours (µm/m)	44.2	52.2	62.5	71.5	78.5	46.5	65.5	72.5	79.5	88.5
Gonflement à 28 Jours (µm/m)	82.5	82.2	94.5	101.2	105.2	70.2	96.5	110.2	125.2	138.5

Tableau 4-11 Gonflement du mortier normal en fonction du taux d'ajout (argile cuite).

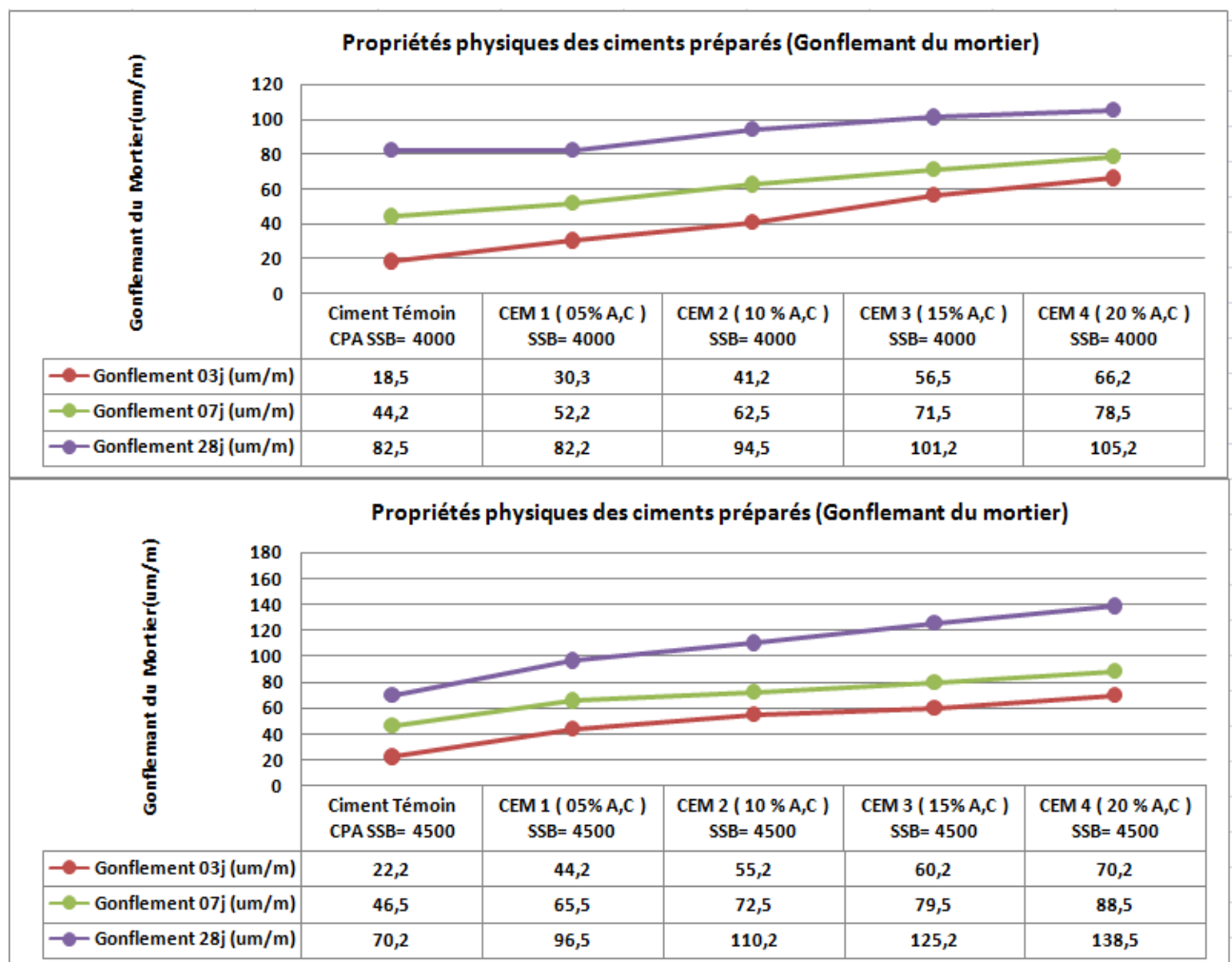
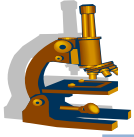


Figure 4-12 Evolution du gonflement du mortier en fonction du taux d'ajout (argile cuite)

On remarque aussi que les retraits à 28 jours sont inférieurs aux valeurs fixées par la norme NF P 15-433 et NA 440 qui sont pour les ciments CPA – CEM I et CEM II/B 42.5

- ≤ 800 µm/m pour la classe 32,5
- ≤ 1000 µm/m pour la classe 42,5



- Avec l'augmentation d'ajout d'argile cuite et pour le même âge, on a constaté une augmentation du retrait mais graduel, cela revient aux particules fines de l'argile cuite
- Pour le même ciment, on a constaté une élévation brusque du retrait avec l'âge, ce phénomène s'explique par la demande significative d'eau entrant dans la réaction chimique continue avec l'âge.

Les principales remarques relatives au retrait et gonflements observés pour les différents ciments étudiés sont :

- Le Retrait augmente avec l'âge du mortier, ceci est dû à l'hydratation du ciment qui génère un fin réseau des pores capillaires des amas d'hydrates formés et à la dessiccation.
- Les Retraits des ciments avec ajouts d'argile cuite sont supérieurs à ceux du ciment Portland (sans ajout).

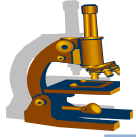
Ceci peut s'expliquer par la diminution du nombre et du diamètre des pores de la pâte du ciment hydraté, ainsi qu'à la formation d'un C-S-H secondaire.

La Figure (4-11) illustre la variation des déformations de retrait des ciments; on remarque que la vitesse de retrait est lente jusqu'à 7 jours et rapide entre l'âge de 7 à 28 jours.

Cette cinétique de retrait est due à l'hydratation tardive de l'ajout argile cuite.

Le gonflement observé sur les éprouvettes contenant comme ajout de l'argile calcinée (déchet de briques) est supérieur au gonflement dû au ciment Portland, ceci est dû à la consommation de la portlandite Ca(OH)_2 et à la combinaison de l'oxyde de magnésium et à l'épuisement de la chaux libre pendant les réactions d'hydratation avec l'ajout incorporé dans le ciment à long terme (formation du deuxième C-S-H).

La Figure (4-12) illustre la variation des déformations du gonflement des ciments; on remarque que la vitesse de gonflement est relativement linéaire entre 3 et 28 jours .



IV-8 Effet du Taux d'ajout Argile Cuite (effet chimique) Sur La Chaleur d'hydratation

Les résultats expérimentaux obtenus (Tableau 4-12 et Figure 4-13) présentent l'effet du taux d'ajout (argile cuite) sur la chaleur d'hydratation des échantillons de mortier normalisé.

	Chaleur hydrations du Mortier normal en fonction du taux d'ajout (argile cuite)									
Types de ciment	Finesse visé 4000 (cm ² /g)					Finesse visé 4500 (cm ² /g)				
	CEM Témoin CPA 0%	CEM 01 05%	CEM 02 10%	CEM 03 15%	CEM 04 20%	CEM Témoin CPA 0%	CEM 01 05%	CEM 02 10%	CEM 03 15%	CEM 04 20%
Chaleur d'hydratation (j/g)	303.2	295.5	285.5	278.5	268.5	312.2	301.2	293.3	288.3	275.5

Tableau 4-12 La chaleur d'hydratation de mortier normal en fonction du taux d'ajout (argile cuite)

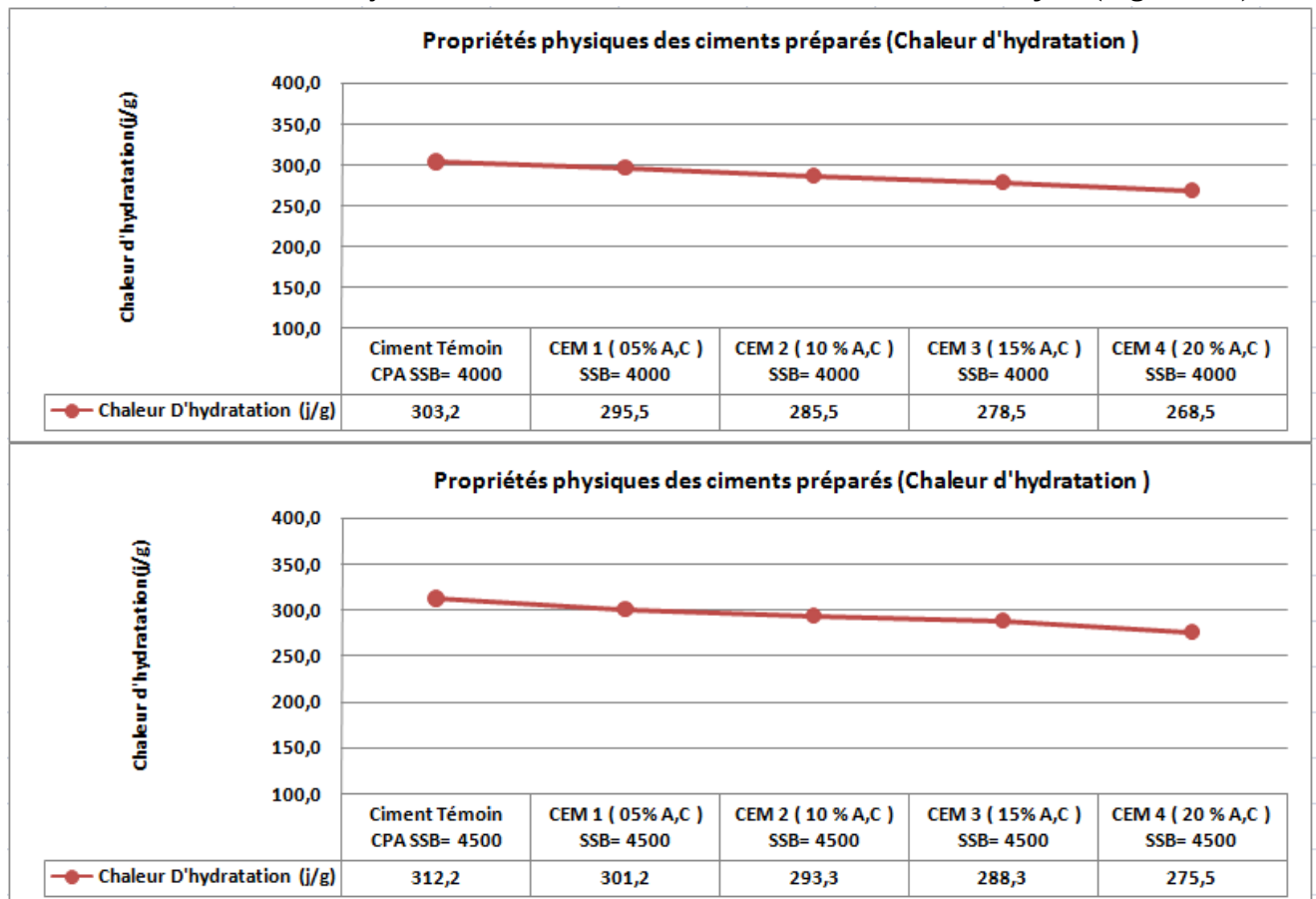


Figure 4-13 Effet du taux d'ajout argile cuite sur la chaleur d'hydratation.

L'essai consiste à suivre le dégagement de chaleur de mortier en utilisant l'appareil de Langavant (semi-adiabatique).

On note que l'augmentation du pourcentage de l'ajout (argile cuite) incorporé dans le ciment a un effet :

- diminuée le taux de dégagement de chaleur d'hydratation.



Le phénomène de prise du ciment s'accompagne d'une réaction exothermique dont l'importance dépend de différents paramètres, en particulier :

- la nature et taux d'ajout utilisé dans le ciment dans notre cas (argile cuite)
- la nature minéralogique du clinker : plus les teneurs en aluminat tricalcique (C_3A) et silicate tricalcique (C_3S) sont élevées, plus la chaleur d'hydratation est forte.

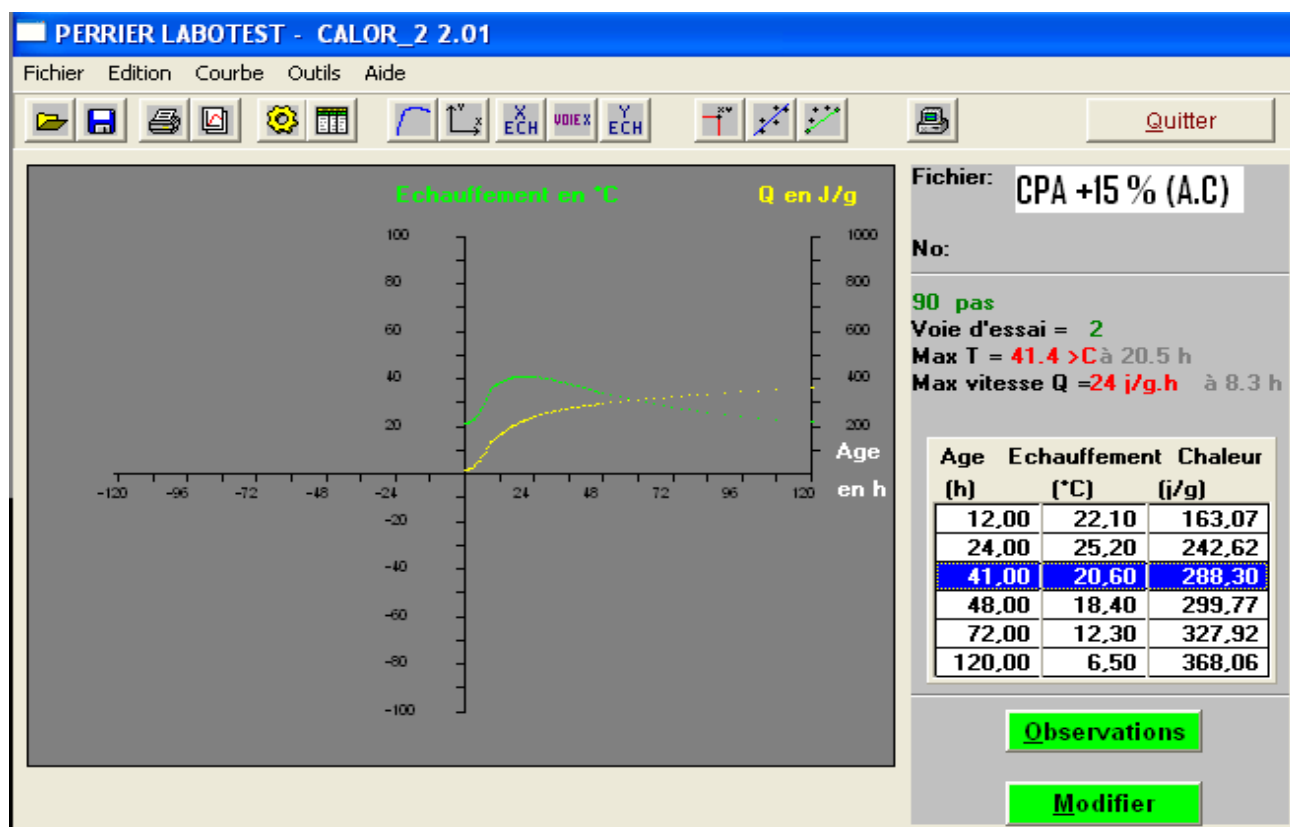


Figure 4-14 Courbe de chaleur d'hydratation et d'échauffement
(Exemple : CEM 03 (15% argile cuite finesse 4500 cm^2/g)).

IV-8-1 Effet du Chaleur d'hydratation Sur le Temps de Prise

Chaleur hydrations du Mortier normal en fonction du taux d'ajout (argile cuite)										
Types de ciment	Finesse visé 4000 (cm^2/g)					Finesse visé 4500 (cm^2/g)				
	CEM Témoin CPA 0%	CEM 01 05%	CEM 02 10%	CEM 03 15%	CEM 04 20%	CEM Témoin CPA 0%	CEM 01 05%	CEM 02 10%	CEM 03 15%	CEM 04 20%
Chaleur d'hydratation (J/g)	303.2	295.5	285.5	278.5	268.5	312.2	301.2	293.3	288.3	275.5
Temps de prise (min)	145	185	190	205	210	140	190	200	210	215

Tableau 4-13 Chaleur d'hydratation en fonction du temps de prise.

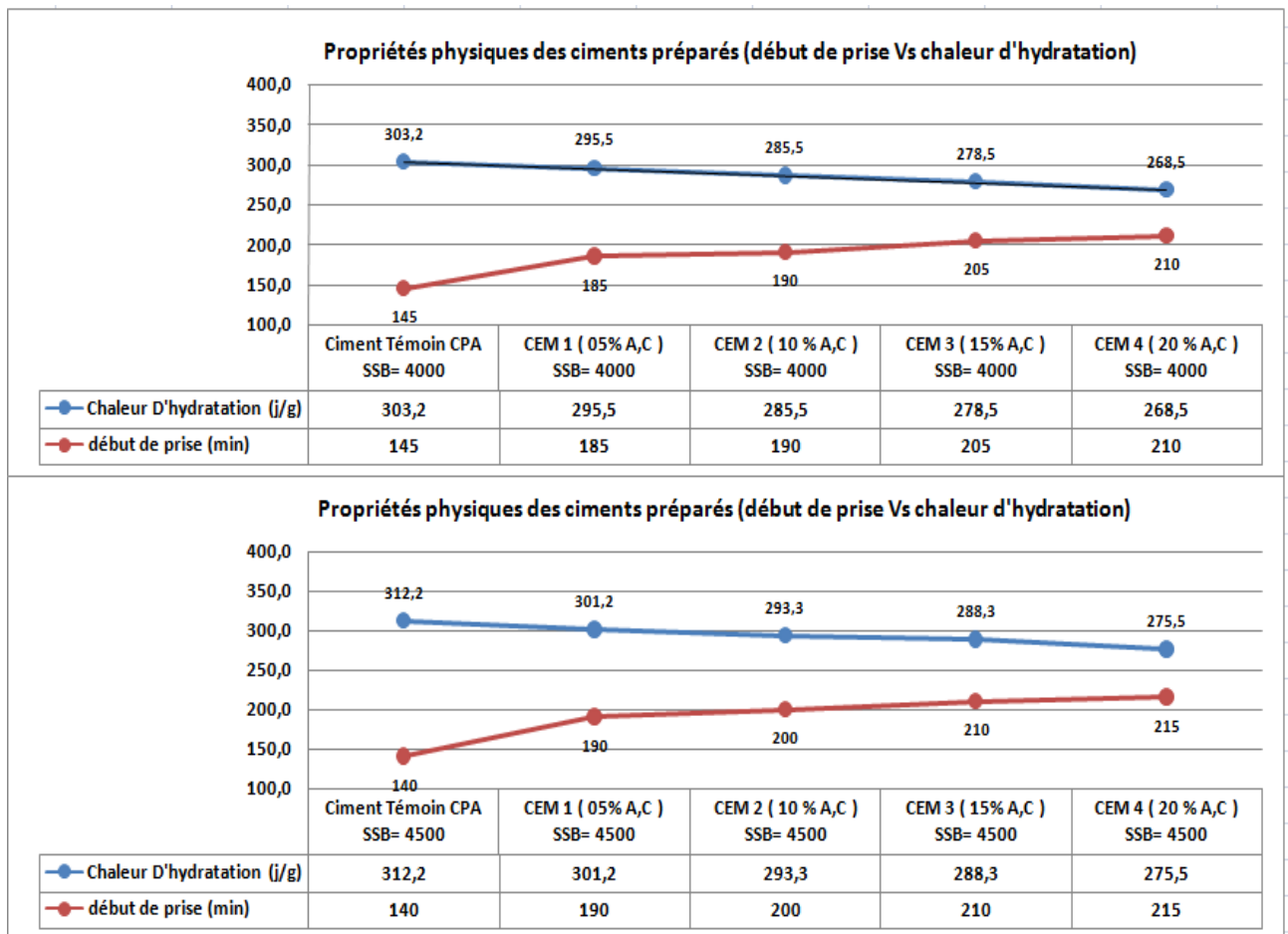
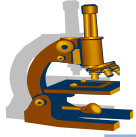


Figure 4-15 Effet chaleur d'hydratation en fonction du temps de prise

On remarque que la chaleur d'hydratation diminue par rapport à l'augmentation du taux d'ajout argile cuite et suivi par le temps de prise augment. (Figure 4-15).

IV-9 Analyse Granulométrique

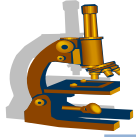
IV-9-1 Granulométrie à Laser

Les courbes granulométriques des dix (10) types de ciment préparés avec et sans constituants secondaires sont représentées sur le Figure (4-16).

On remarque que pour les ciments contenant le argile cuite, trois paramètres principaux caractérisent la distribution de la taille des grains :

- Temps de broyage.
- Poids spécifique.
- Finesse de Blaine (surface spécifique).

Les Figures (4-16) montrent que la distribution des dimensions des particules obtenues par le Granulometre à laser des ciments utilisés dans notre étude varie entre (2 μ m à 100 μ m) pour le plus gros grain.



-Lecture de la courbe

Le graphe se présente sous forme d'échelle logarithmique.

L'abscisse (X) indique le diamètre des grains en μm et l'ordonnée (Y) avec deux échelles :

L'échelle de droite est relative aux % des fractions lus sur la courbe de fréquence L'échelle de gauche, indiquant le % cumulé dans le cas où une courbe cumulative est représentée (figure 16).

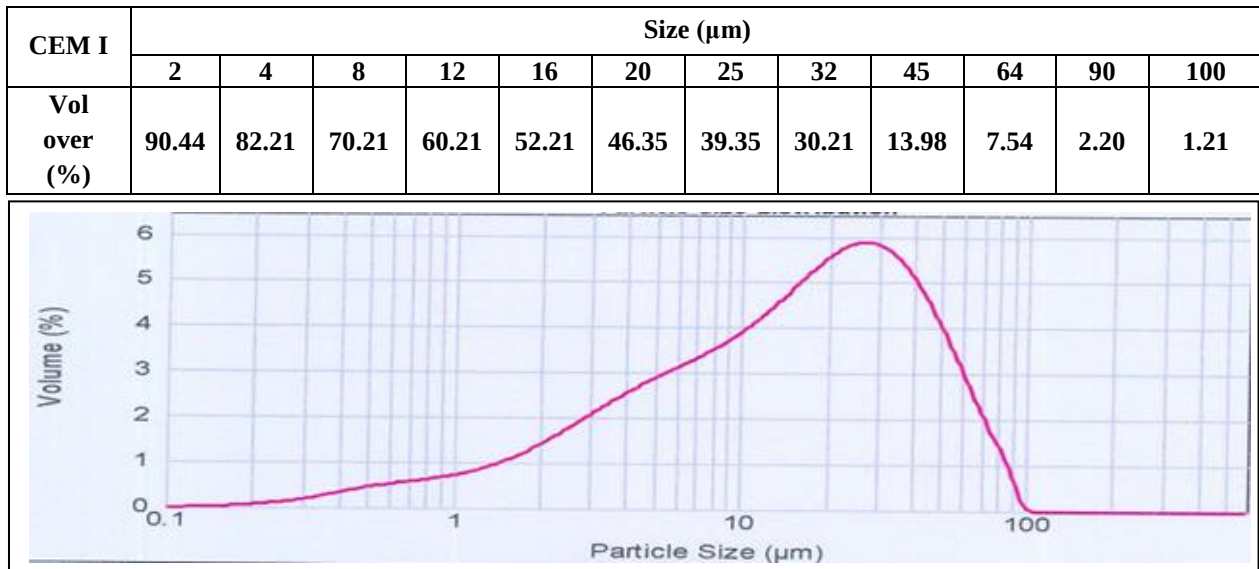


Figure 4-16 Courbe granulométrique de CEM 01(0% argile cuite)

IV-9-2 Granulométrie à Méthode Alpine

Les résultats expérimentaux obtenus (Tableau 4-14 et Figures 4-17) présentent l'effet du taux d'ajout (argile cuite) sur l'analyse granulométrique à 45 μm et 90 μm .

L'augmentation de taux d'ajout argile cuite dans les ciments préparé diminue la granulométrie de ciment.

	Finesse visé 4000 (cm^2/g)					Finesse visé 4500 (cm^2/g)				
	Rejet (%)					Rejet (%)				
Taille (μm)	CEM Témoin CPA 0%	CEM 01 05%	CEM 02 10%	CEM 03 15%	CEM 04 20%	CEM Témoin CPA 0%	CEM 01 05%	CEM 02 10%	CEM 03 15%	CEM 04 20%
45 μm	11,2	12,5	12,2	11,8	11,5	10,5	10,9	10,5	10,0	9,9
90 μm	1	1	1	0,9	0,9	1.0	0,9	0,9	0,9	0,8
SSB (cm^2/g)	4000	4040	4060	4080	4090	4500	4500	4510	4520	4530

Tableau 4-14 Analyse granulométrique de ciment préparé (ALPINE).

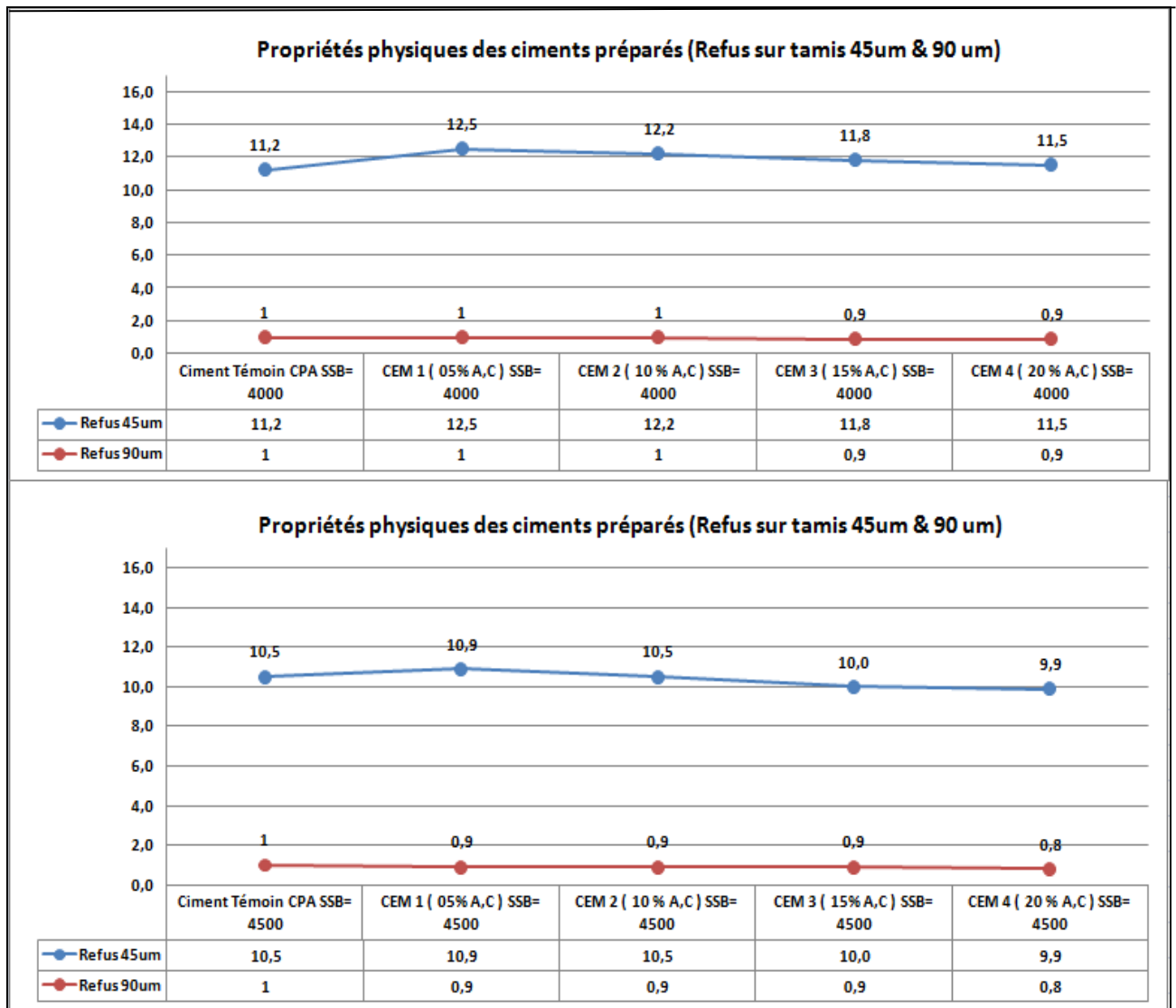
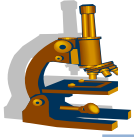
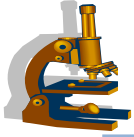


Figure 4-17 Analyse granulométriques de ciment préparé (ALPINE)

IV-10 Microscope électronique à balayage

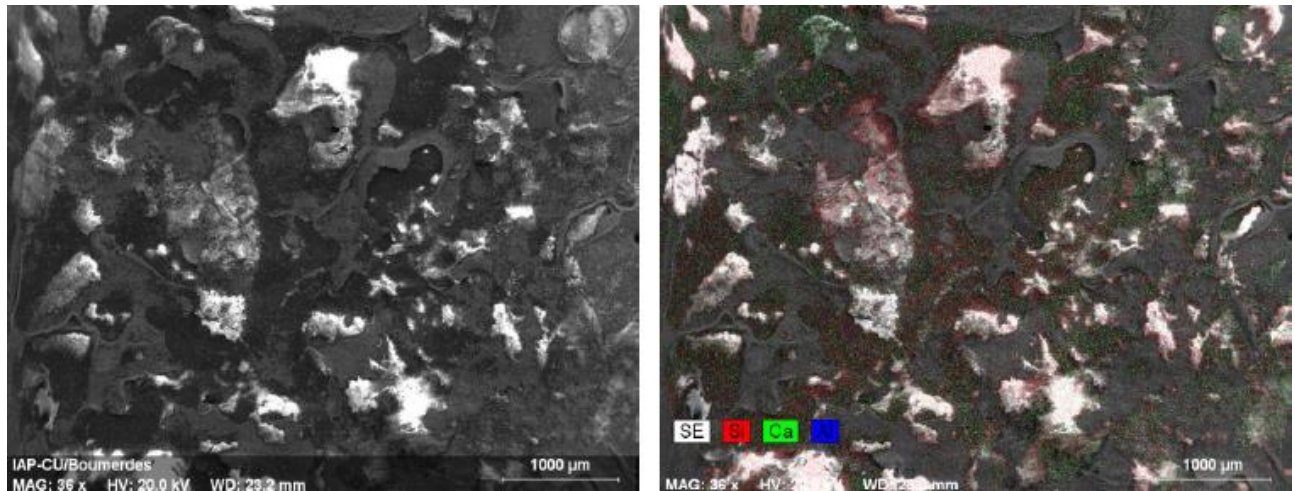
La morphologie des cristaux (taille et forme) observée au microscope électronique à balayage (**M.E.B**) de la pastille de mortier de ciment de référence et les pastilles de mortier avec l'ajout sont représentées sur les Figures (4-18). et (4-19) montre une forte oxydation (hydratation) parce que les zones noirs en chimie sont due à une oxydation intense des éléments de la matière (cristaux du silicate de calcium) dans les pores par rapport aux cristaux d'aluminate de calcium (évolution ou accroissement des phases minérales dans les cavités et les zones d'interfaces).

Ainsi on voit que les oxydes présents dans nos ciments sont très bien réparties sur l'ensemble de la matière .Certaines microfissures apparaissent qui sont due probablement à l'effet de l'écrasement des éprouvettes.

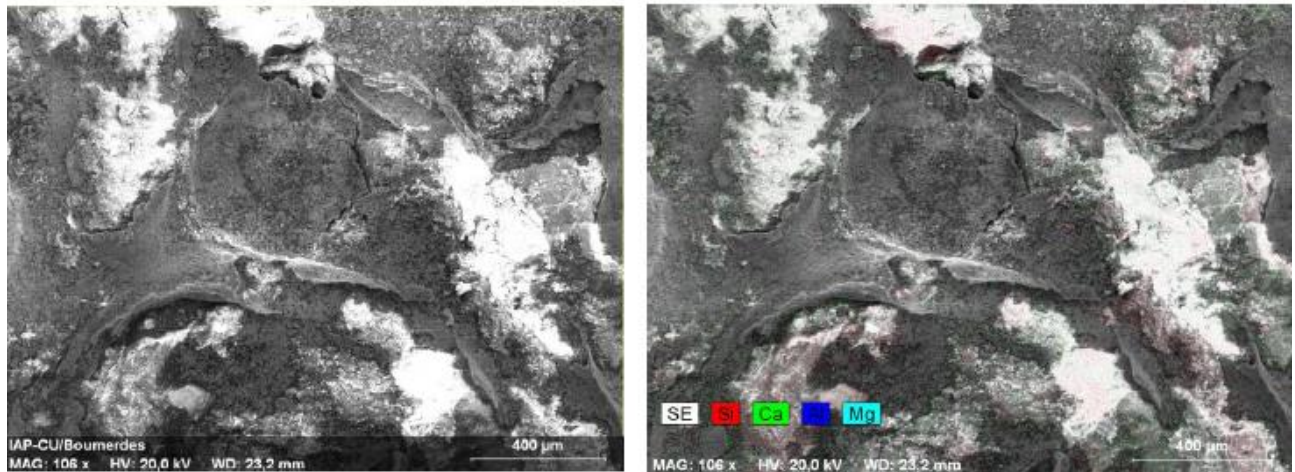


La Figure 3-15 montre le spectre à rayon X qui confirme la présence des oxydes tel que la silice, l'alumine, le calcium, l'oxygène et des traces de manganèse.

L'interprétation du degré de carbonatation et de la distribution des phases carbonatées observées dans la Figure 4-18 et la présence de l'hydrate de silicate de calcium et de l'aluminate de calcium est meilleure dans le mortier sans ajout en comparaison avec celui à base d'ajout à de durcissement observée dans la Figure 4-19.



**Figure 4-18 .Microstructure d'un mortier de ciment sans ajout (CPA)
Répartition des cristaux et des oxydes.**



**Figure 4-19.Microstructure d'un mortier de ciment avec 10% ajout (CPJ)
Répartition des cristaux et des oxydes.**