

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Tahri-Mohamed- Bechar
Faculté de Technologie



Thèse en vue de l'obtention du diplôme
DOCTORAT EN SCIENCES

Présentée Par : ZAOUI Miloud

Sujet de Thèse

La recherche d'un matériau économique pour la réalisation des outils d'emboutissage pour la mise en forme des tôles minces

Soutenu le : 19/06/2018

Devant le jury composé de :

	Nom	Prénom	Grade	Université d'origine
Président	BENABBASSI	Abdelhakem	Pr	U. T.M BECHAR
Examineur	MIROUD	Djamel	Pr	USTHB
Examinatrice	KHENFER	Khadîdja	MCA	USTHB
Directeur de thèse	TAFRAOUI	Ahmed	Pr	U. T.M BECHAR

Année Universitaire : 2017-2018

Remerciements

Le présent travail a été effectué au sein de Laboratoire de Fiabilité du Génie Mécanique (LFGM) à l'université TAHRI Mohamed BECHAR.

J'exprime ma sincère reconnaissance à mon encadreur Pr. TAFRAOUI Ahmed, de m'avoir encadré, soutenu et conseillé tout le long de ce travail.

Mes remerciements vont aussi aux membres de jury pour l'intérêt qu'ils ont montré en acceptant de rapporter cette thèse, à tous les enseignants du département de MECANIQUE, toutes les équipes du laboratoire LFGM.

Je remercie également Mr MAZZOUZI Hadj Hammo directeur de la société SAFIR SAOURA qui nous a accueilli au sein de son entreprise, pour son gentillesse et sa serviabilité, ainsi que son assistance technique en particulier Mr DAROUICHE Radouane, et à tous ceux qui m'ont aidé, soutenu de près ou de loin à réaliser ce travail.

RESUME

Devant la complexité de la fabrication (usinabilité) et l'analyse des paramètres de conception des outils d'emboutissage qui influencent le temps, le coût et la qualité de réalisation, nous a poussé à la recherche d'un matériau économique qui substitue les outils d'emboutissage en acier ou en fonte tels que les outils en béton BUHP et BFUHP. Dans un premier temps, on a procédé à la recherche d'une formulation adéquate pour réaliser un notre béton à partir du sable de dune de la région de taghit (Bechar). Le traitement thermique par étuvage, nous a permis d'avoir des performances mécaniques élevés allant jusqu'à une résistance de compression de 120 MPa, une résistance de traction par flexion de 15 MPa. Le mode de traitement est de 150°C, le retrait total est quasiment nul. Ces propriétés sont très élevées par rapport à un béton ordinaire. Plusieurs formulations de ces bétons ont été testées.

Des essais sur une ligne quasi-industrielle ont donnés des résultats encourageants et confirment que les outils en béton BFUHP ont une tendance importante pour la réalisation des petites séries (≤ 500 pièces) Cependant, l'extension de ces outils à un nombre de pièces plus important passe indéniablement par l'amélioration de leurs performances mécaniques de surface.

Mots clés : emboutissage, béton à hautes performances, usure, état de surface, dureté.

ABSTRACT

In front of the complexity of the manufacturing (workability) and analyzes it parameters of design of the tools for stamping which influence time, the cost and the quality of realization, pushed us in search of an economic material which substitutes the tools for stamping out of steel or cast iron such as the concrete tools BUHP and BFUHP. Initially, one proceeded in search of an adequate formulation to carry out one our concrete starting from the sand of dune of the area of taghit (Bechar). The heat treatment by stoving, enabled us to have mechanical performances raised going until a resistance of

compression of 120 MPa, a resistance of traction per inflection of 15 MPa. The mode of treatment is of 150°C, the complete withdrawal is almost null. These properties are very high compared to an ordinary concrete. Several formulations of these concretes were tested.

Tests on an quasi-industrial line gave encouraging results and confirm that the concrete BFUHP tools However have an important trend for the realization of the small series (≤ 500 parts), the extension of these tools to a more significant number of parts unquestionably passes by the improvement of their mechanical performances of surface.

Keywords: stamping, concrete with high efficiencies, wear, surface quality, hardness.

ملخص

ونظرا لتعدد التصنيع (التشغيل في الماكينات) وتحليل معايير التصميم من الأدوات التي تؤثر على الوقت والتكلفة وجودة التنفيذ وختم، وأدى بنا إلى البحث عن مادة الاقتصادية التي تستبدل الأدوات ختم في البداية ، بحثنا عن تركيبة BFUHP و BUHP الصلب أو الحديد الزهر مثل أدوات ملموسة مناسبة لصنع الخرسانة من رمل الكثبان الرملية في منطقة تاغيت (بشار). المعالجة الحرارية بالبخار ، سمحت لنا أن يكون لدينا أداء ميكانيكي عالي يصل إلى قوة ضغط 120 ميجاباسكال ، قوة شد الانحناء 15 ميجا باسكال. وضع العلاج هو 150 درجة مئوية ، والانسحاب الكامل هو ما يقرب من الصفر. هذه الخصائص عالية جدا مقارنة مع الخرسانة العادية. تم اختبار العديد من تركيبات هذه الخرسانة أعطت الاختبارات على خط الصناعاتي تقريبا نتائج مشجعة وتؤكد أن أدوات ملموسة لها اتجاهها هاما لتحقيق سلسلة صغيرة ≥ 500 قطع ومع ذلك، فإن تمديد هذه الأدوات في عدد من أجزاء أكثر المهم لا يمكن إنكاره عن طريق تحسين أداء سطحها الميكانيكية

الكلمات المفتاحية: الختم ، الخرسانة عالية الأداء ، التآكل ، حالة السطح ، الصلابة

Sommaire

SOMMAIRE	I
LISTEDESFIGURE	III
LISTEDESTABLEAUX	VI
NOMENCLATURE	VII
INTRODUCTIONGENERALE	1

CHAPITRE I

Recherche bibliographique sur le procédé d'emboutissage

I.1 Introduction	4
I.2 Généralités sur la mise en forme des métaux	5
I.2.1 Emboutissage industriel	6
I.2.1.1 Définition	6
I.2.1.2 Principe de l'emboutissage	7
I.2.1.3 Outillages	8
I.2.2 Les paramètres du procédé	11
I.2.2.1 Paramètres lié à la presse	12
I.2.2.2 Paramètres liés à la tôle	14
a) La taille de la tôle	14
b) La lubrification	15
I.3 Travaux antérieurs	16
I.4 Valorisation du sable des dunes (sable de la région du Saoura)	17
I.4.1 Introduction	17
I.4.2. Les sables de dunes	18
I.4.2.1. Définition	18
I.4.2.2. Origines des sables étudiés	20
I.4.2.3. Méthodes de caractérisations physico-chimiques	20
a) Analyse granulométrique	21
b) Observations microscopiques	22
c) Analyse élémentaire par diffractométrie des rayons X	23

Sommaire

I.5 Résultats	24
I.5.1 Analyses granulométriques	24
I.5.2 Observations au microscope optique et au MEB	25
I.5.3 Analyses élémentaires par diffraction des rayons X	28
I.6 Conclusion	29

CHAPITRE II

Formulation et conception d'un outil d'emboutissage

II.1 Introduction	30
II.2 Matériaux et méthodologie	30
II.2.1 Ciment	30
II.2.2 Granulats	31
II.2.3 Additions	32
II.2.3.1 La fumée de silice	32
II.2.3.2 Le sable broyé	32
II.2.4 Fibres	34
II.2.5 Adjuvant	34
II.2.6 Eau	34
II.3 Formulations des bétons BUHP	35
II.3.1 Définition du sable	35
II.3.2 Les différents constituants du sable	35
II.3.2.1 La silice	35
II.3.2.2 Le silicium	36
II.3.3 Propriétés physiques	36
II.3.4 Propriétés chimiques	37
II.3.5 Fabrication des BUHP	37
II.3.6 Séquence de malaxage	38
II-4 Conception d'un outil d'emboutissage	40
II.4.1 Introduction	40
II.4.2 Etat de surface et leurs propriétés	40

Sommaire

II.4.3 Conception du moule	41
II.4.3.1 Matériel et outillages	42
II.4.4 Mise en œuvre pour l'outil métallique	43
II.4.4.1 Conception du moule en matériau composite	43
II.4.4.2. Conception du moule en Silicone	46
II.5 Conclusion	48
CHAPITRE III.	
Résultats et discussions	
III.1 Introduction	49
III.2 Essais mécaniques des outils	49
III.2.1 Résistance à la compression	49
III.2.2 Résistance à la flexion	51
III.2.3 Détermination du module d'élasticité longitudinal	53
III.2.4 Retrait du béton durci (au-delà de 24 heures)	54
III.2.5 Perméabilité	55
III.2.6 Absorption d'eau par capillarité	56
III.2.7 Etat de surface des outils en BUHP	58
III.2.7.1 Rugosité	58
III.2.7.2 Coefficient de frottement	59
III.2.7.3 Observation au microscope électronique à balayage	63
III.3 Essai d'emboutissage	64
III.3.1 Description du modèle	64
III.3.2 Tests expérimentaux	66
III.4 Commentaire	68
III.5 Conclusion	68
CONCLUSION GENERALE	69
PERSPECTIVES	70
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	71
ANNEXES.....	74

LISTE DES FIGURES

Figures	Désignations	Pages
Figure I.1	Principaux procédés de mise en forme des métaux métalliques	5
Figure I.2	Schématisation du procédé d'emboutissage	6
Figure I.3	Procédé d'emboutissage avec freinage de la tôle sous serre-flan	7
Figure I.4	Principaux déformations par emboutissage	7
Figure I.5	Presse à col de cygne et presse à arcade	10
Figure I.6	Outil direct sur presse à double effet	11
Figure I.7	Outil combiné à découper et à embouti	11
Figure I.8	Variation de l'arrondie sur la matrice	13
Figure I.9	Les différents défauts de l'embouti	15
Figure I.10	Outils d'emboutissage en Béton BUHP	17
Figure I.11	Image satellite du Sahara Algérien	18
Figure I.12	Types de dunes.	19
Figure I.13	Image satellite des régions de prélèvements dans l'erg occidental du Sud-Ouest	20
Figure I.14	Classification des sédiments par taille selon l'échelle de Wentworth	21
Figure I.15	Courbes cumulatives des différents échantillons	24
Figure I.16	Observations des grains de sable au microscope optique	26
Figure I.17	Observations des grains de sable au MEB	26
Figure I.18	Analyse chimique élémentaire par EDX	27
Figure I.19	Analyse par DRX d'un sable de dune (Sable de Taghit)	28

Figure II.1	L'analyse granulométrique du sable de dune	31
Figure II.2	Représentation sable dune broyé et broyeur à boulets	33
Figure II.3	Le type des fibres utilisé	34
Figure II.4	Malaxeur 20 litres	39
Figure II.5	Moule en plastique	41
Figure II.6	Pièces en béton après démoulage	41
Figure II.7	Matériels	42
Figure II.8	L'outil en métal	43
Figure II.9	Outil en métal recouvert avec la solution préparée	43
Figure II.10	Outil en métal recouvert en mat de verre	44
Figure II.11	Moule en matériau composite	44
Figure II.12	Outil en béton BUHP	45
Figure II.13	Outil en métal	45
Figure II.14	Moule en matériau composite en deux parties	45
Figure II.15	Outil en béton après démoulage	45
Figure II.16	Poinçon et matrice en acier	46
Figure II.17	La colle silicone	46
Figure II.18	Moule en silicone	47
Figure II.19	Outil en béton BUHP	47
Figure II.20	Outil en béton assemblé	48
Figure III.1	Machine de flexion /compression 15/300 KN	49
Figure III.2.	Essai de compression	50
Figure III.3	Représentation de la variation de la contrainte moyenne à la compression du béton BUHP en fonction du temps	50

LISTES

Figures	Désignations	Pages
Figure III.4.	Essai de flexion	51
Figure III.5	Evolution de la contrainte de flexion en fonction du temps	52
Figure III.6.	Paramètre de l'essai de détermination du module d'élasticité	53
Figure III.7	Dispositif de l'essai	55
Figure III.8	Retrait total du BUHP	55
Figure III.9	Dispositif expérimental de mesure d'absorption d'eau par capillarité	57
Figure III.10	Absorption d'eau par capillarité des BUHP	57
Figure III.11	Rugosimètre	58
Figure III.12	Rugosité de l'outil en acier	59
Figure III.13.	Rugosité de la face travaillante de l'outil en béton	59
Figure III.14.	Evolution du coefficient de frottement en fonction du déplacement vertical de la tôle lors d'un usage de la même tôle (cycle 701 à 725)	60
Figure III.15.	Evolution du coefficient de frottement dynamique en fonction du nombre de cycle lors d'un usage répété de la même tôle	61
Figure III.16.	Evolution du coefficient de frottement en fonction du déplacement de la tôle.	61
Figure III.17.	Evolution du coefficient de frottement statique et dynamique en fonction de la contrainte de serrage	62
Figure III.18.	Image MEB (x250) du BUHP à 28 jours	63
Figure III.19.	Image MEB (x250) du BUHP sans polissage à 28 jours	64
Figure III.20.	Montant d'une carrosserie d'un humidificateur	64
Figure III.21.	Presse hydraulique 400 tonnes	65
Figure III.22.	Tôle en acier prédécoupé	65
Figure III.23.	Outil en béton monté sur presse	66
Figure III.25.	Pièce obtenue	68
Figure III.24.	Défauts rencontrés de la pièce	

LISTES

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	Désignations	Pages
Tableau I.1	Classement d'un sédiment	22
Tableau I.2	Indices des différents échantillons déduits des courbes cumulatives ou calculés	25
Tableau I.3	Résultats des analyses chimiques élémentaires DRX (en %) (Sable de Taghit)	29
Tableau II.1	Compositions chimiques en % des matériaux utilisés	30
Tableau II.2	Caractéristiques physiques des matériaux utilisés	31
Tableau II.3	Caractéristiques chimiques en %	32
Tableau II.4	Caractéristiques physiques en %	32
Tableau II.5	Analyse chimique du SDB (%)	33
Tableau II.6	Formulation des BUHP avec sable de dune	38
Tableau II.7	Temps de malaxage des BFHP étudiés	39

LISTES

NOMENCLATURES

Symboles	Désignations	Unités
P_p	Pression partielle	[Kgf]
D	diamètre du poinçon	[mm]
E	épaisseur du flan	[mm]
P_s	Effort exercé par le serre-flan	[Kgf]
D	diamètre de la matrice	[mm]
σ_a	Contrainte moyenne	[MPa]
σ_b	Contrainte de base	[MPa]
ε_a	déformation mesurée pour la contrainte σ_a	[mm]
ε_b	déformation mesurée pour la contrainte σ_b	[mm]
E	Module d'élasticité linéaire	[MPa]
M_x	masse de l'éprouvette à une échéance donnée	[Kg]
M_o	masse initiale de l'éprouvette	[Kg]
A	section de l'éprouvette	[mm ²]
$R_{c,moy}$	Résistance de compression moyenne	[MPa]
$R_{f,28j}$	Résistance à la flexion à 28 jours	[MPa]
R_{fe90}	Résistance de flexion étuvée à 90 degrés	[MPa]
Q1	Quartile 1	
Q2	Quartile 2	
Q3	Quartile 3	
S_o	indice de classement	
S_k	l'indice (ou coefficient) d'asymétrie	
σ_a	Résistance moyenne	[Mpa]
σ_b	Contrainte de base	[Mpa]
E	Le module d'élasticité longitudinal	[Mpa]

LISTES

$\varepsilon_{a,n}$	Déformation mesurée pour la contrainte σ_a pour le cycle n
$\varepsilon_{b,n}$	déformation mesurée pour la contrainte σ_b pour le cycle n

INTRODUCTION
GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Les structures à parois minces sont utilisées dans diverses applications industrielles. Les procédés de la mise en forme de ces structures dépendent du matériau utilisé et de la géométrie du produit recherché. Dans le cas des matériaux métalliques où les efforts nécessaires à la mise en forme sont importants, les produits à parois minces sont fabriqués par l'emboutissage à partir de feuilles de tôle. Ce procédé est largement utilisé dans l'industrie automobile pour la production des pièces de carrosserie. La mise au point des procédés de fabrication est généralement basée sur des séries d'essais qui sont longues et coûteuses. De ce fait, les industriels ont toujours cherché à minimiser les coûts de ces essais en jouant sur plusieurs paramètres liés soit à la tôle ou à l'outillage.[1]

Le procédé d'emboutissage a fait l'objet de nombreuses études théoriques et numériques telle qu'il est décrit dans les comptes rendus de conférences internationales telles que NUMIFORM 86, 89 et 92 [2], [3], [4] et les différents logiciels de simulation de l'emboutissage existe. [5].

Dans le cadre de notre travail, nous nous sommes intéressés à la substitution des outils d'emboutissage en acier ou en fonte avec des outils fabriqués par des matériaux économiques tel que les bétons.

Les travaux récents effectués en matière de formulation et de fabrication des bétons ont permis la mise au point de béton à ultra haute performance fibré appelé BFUHP. Les recherches sont aboutis à des solutions techniques qui ont données des résultats encourageants telles que les outils prototypes en béton hydraulique recouvert au moins partiellement d'une couche métallique [6],[7] les outils d'emboutissage fabriqués par un empilement de strates métalliques, assemblés par diverses techniques[8] et la conception des outils prototypes d'emboutissage en béton de poudre réactive (BPR) [9], qui présente des propriétés mécaniques et de durabilité remarquables [10],[11].

L'utilisation de ces bétons dans le domaine mécanique permettrait de réduire considérablement les coûts de fabrications comme l'emboutissage.

Le premier domaine d'application de ces outils serait les outils prototypes. Néanmoins, si les outils en béton BUHP confirment leurs bonnes performances, il serait intéressant d'étendre leur utilisation à l'emboutissage de petites et moyennes séries (5000 pièces).

Introduction générale

En effet, le marché automobile des véhicules de grandes séries commence à être progressivement saturé. Par contre, de nouveaux marchés s'ouvrent pour des véhicules plus spécifiques produits en petites (quelques milliers) et moyennes séries (quelques dizaines de milliers). Jusqu'à présent, les petites et moyennes séries ne concernaient que quelques véhicules tels que les séries spéciales, les camions ou les véhicules haut de gamme par exemple. Mais, la tendance actuelle montre que de nombreux corps de métier comme les électriciens, plombiers ou verriers, sont intéressés par des véhicules utilitaires adaptés à leurs besoins spécifiques. Cependant, les outils de série utilisés actuellement sont en fonte entraînant des coûts de fabrication élevés et leur amortissement n'est obtenu qu'au bout d'un million de véhicules fabriqués.

Alors la conception d'un outil d'emboutissage en béton BUHP permettrait de réduire considérablement les coûts de fabrication et d'ouvrirait dans le futur de nouvelles perspectives aux fabricants automobiles qui pourront renouveler plus souvent leur gamme et par conséquent, s'adapter plus rapidement à la demande du marché.

Ce type de béton a une très bonne capacité de remplissage, et conjuguée à la structure amorphe de ces constituants, ce qui l'aide à prendre des formes complexes des empreintes des pièces. Les performances mécaniques du béton BUHP réalisé par TAFRAOUI et LIBAILI [9] à partir du sable de dune de l'erg occidentale du sud-ouest de l'Algérie et en raison de ses caractéristiques et propriétés exceptionnelles joue un très grand rôle dans la conception et la réalisation d'outils d'emboutissage en béton BUHP.[9].

Ces outils ont été testés sur presse hydraulique dans une société privée et ont donné des résultats très encourageants.

Le plan de rédaction de la présente thèse est le suivant :

Nous commençons par une introduction générale, suivie du premier chapitre présentant les principaux procédés de mise en forme des métaux, principe d'emboutissage, les modes de déformation dans l'emboutissage, l'outillage et à la fin du chapitre nous abordons les différents paramètres du procédé à savoir ceux liés à au type de matériau, à la géométrie de l'outil et à la tôle.

Dans le chapitre deux nous avons fait une synthèse des caractéristiques et les propriétés des BUHP connues à ce jour. Ainsi qu'on a montré les différents constituants du béton à ultra haute performance. A la fin de ce chapitre nous avons fait une conception des moules d'outils d'emboutissage en différents matériaux.

Le troisième chapitre est consacré aux résultats des essais mécaniques sur les bétons à

Introduction générale

ultra haute performances fabriquer à partir de sable de dune de la région de Béchar.

On expose aussi le mode de traitement thermique à 150°C appliqué au BUHP, ainsi que leurs applications dans le milieu industriel.

Nous terminerons avec une conclusion générale et des perspectives

CHAPITRE I

Recherche bibliographique sur
le procédé d'emboutissage

Recherche bibliographique sur le procédé d'emboutissage

I.1 Introduction :

L'objectif premier de cette mise en forme est de conférer à une pièce métallique des dimensions situées dans une fourchette de tolérances données ainsi que des caractéristiques précises. Parmi les principaux procédés apparus récemment afin d'assurer la production en grande série, se trouve le formage. Ce procédé regroupe plusieurs techniques dont l'intérêt est le travail des métaux en feuilles. Il en résulte alors une forme déterminée.

La technique de formage la plus répandue dans l'industrie est l'emboutissage. La reconnaissance mondiale de ce mode de mise en forme est dû en grande partie à la pression d'éléments extérieurs tels que la nécessité croissante d'alléger les produits, la lutte contre la corrosion ou la concurrence des matériaux non métalliques.

Cette technique sera au centre de ce rapport bibliographique dont le but est de vous présenter de façon précise mais concise, ce mode de formage.

Dans les industries mécaniques, les produits plats (tôles) sont largement utilisés pour réaliser diverses composantes ; les pièces de carrosseries d'automobiles par exemple ont principalement fabriquées à partir de tôles métalliques. L'industrie sidérurgique développe actuellement de nouvelles tôles à partir de matériaux combinant à la fois résistance et large aptitude à la mise en forme (formabilité). Cette branche d'activité occupe une place importante dans cette industrie.

Des développements considérables ont été également réalisés ces dernières années pour l'amélioration des procédés de mise en forme de ces tôles.

L'emboutissage reste l'un des procédés les plus utilisés pour fabriquer des pièces à partir de tôles métalliques. Son succès est dû au fait que presque la totalité du matériau est utilisé. De plus, il permet d'obtenir des pièces à des cadences très élevées. Son intérêt économique est donc indéniable.[12],[13].

L'emboutissage est un procédé de formage qui consiste à transformer une tôle plane en une forme creuse de géométrie plus ou moins complexe. Ce procédé nécessite une presse hydraulique ou mécanique équipée d'un outillage constitué essentiellement par un poinçon et une matrice. En général, on ajoute un serre-flan pour prévenir le plissement de la tôle en périphérie du poinçon. Le métal subit une déformation permanente lorsque la tôle est entraînée par le poinçon

Recherche bibliographique sur le procédé d'emboutissage

dans la matrice.

On nomme «embouti» le corps creux avec une paroi plus ou moins cylindrique et un fond, obtenu par emboutissage.

Nous terminerons ce chapitre par la valorisation du sable de dune utilisé dans notre étude [9]

I.2 Généralités sur la mise en forme des métaux:

Il existe trois voies principales de mise en forme selon l'état de départ du matériau (le moulage, le façonnage et le frittage). La figure I.1 récapitule les principaux procédés de mise en forme des métaux utilisés actuellement. Parmi les techniques de formage (sans enlèvement de matière des métaux en feuilles) on trouve le procédé l'emboutissage. Il est l'un des procédés les plus réponsus dans le milieu industriel. [14]

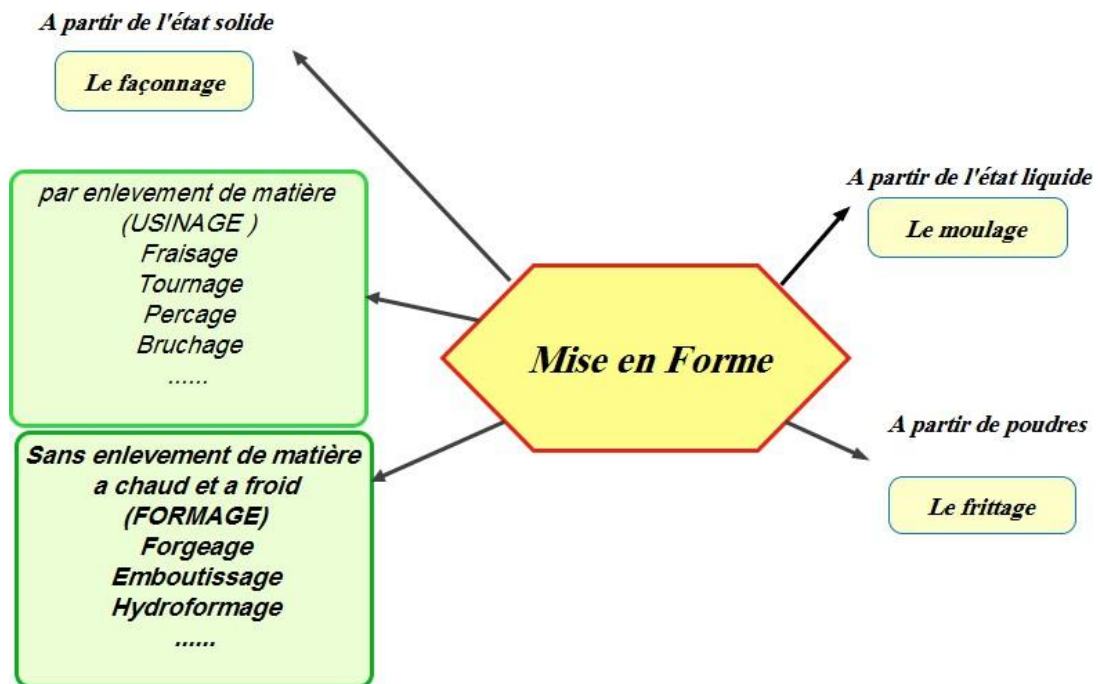


Figure I.1. Principaux procédés de mise en forme des métaux métalliques.

L'emboutissage consiste alors à fabriquer, à partir d'un flan plan de faible épaisseur une pièce de forme complexe généralement non développable. Le flan étant bloqué avec une certaine force contre la matrice par le serre-flan et mis en

Recherche bibliographique sur le procédé d'emboutissage

forme par avancée du poinçon à l'aide d'une presse.

Nous pouvons présenter le procédé d'emboutissage comme suit Fig.I.2.

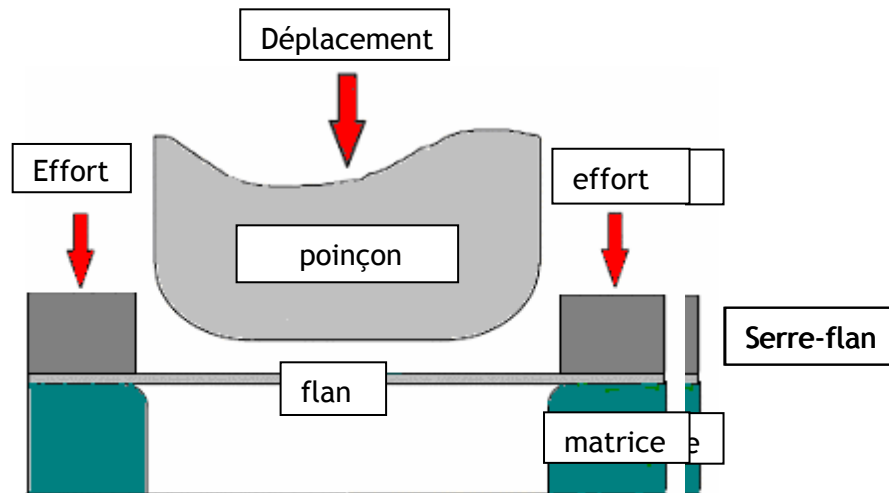


Figure I.2.Schématisation du procédé de l'emboutissage

I.2.1 Emboutissage industriel:

I.2.1.1 Définition:

L'emboutissage est un procédé de mise en forme très largement répandu dans l'industrie, permettant d'obtenir des pièces de surface non développables à partir des feuilles de tôles minces (ou des tôles circulaires prédécoupées appelée flan) montées sur presse.

Très utilisé dans le secteur automobile pour la fabrication des éléments de carrosserie, comme il est également très présent dans d'autres secteurs, tels que le mobilier métallique, l'électroménager, ou encore la ferblanterie.

Ce mode de formage s'effectue sur une presse au moyen d'un outillage dont la configuration détermine l'effet obtenu sur le flan:

- **Outils à simple effet** : configuration la plus simple, composée principalement d'une matrice et d'un poinçon.
 - **Outils double effet** : comprend en plus de l'outil simple effet, un serre-flan.
- L'outillage utilisé en emboutissage comprend donc.(Fig. I.1)
- **Un poinçon** : coulissant plus ou moins vite sur l'axe vertical, et déformant la

Recherche bibliographique sur le procédé d'emboutissage

tôle.

- **Une matrice** : elle sert d'appui à la tôle et lui donne la forme extérieure finale au retour élastique près.

- **Un serre flan** : son rôle est de maintenir plus ou moins le flan lors d'une opération d'emboutissage afin d'assurer un écoulement homogène du métal et prévenir les risques de plis ou autres défauts d'emboutissage.

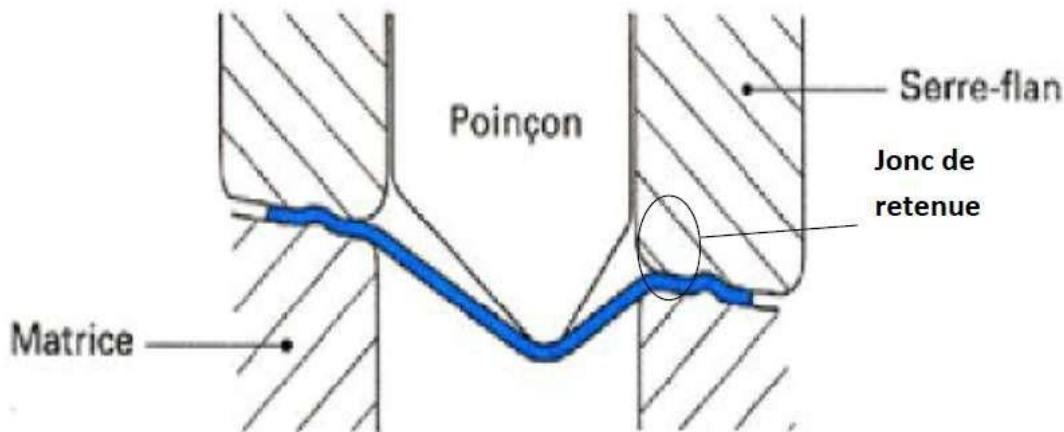


Figure I.3. procédé d'emboutissage avec freinage de la tôle sous serre-flan. [15]

I.2.1.2 Principe de l'emboutissage:

Le principe est basé sur la déformation plastique du matériau (en général un métal) déformation consistant en allongement ou rétreint local de la tôle pour obtenir la forme désirée. Par suite de la conservation globale du volume du matériau, les zones d'étirement subissent un amincissement (qui doit rester limité pour éviter la rupture) et les zones de rétreint (compression) subissent une combinaison d'épaississement et de plissement on cherche en général à éviter ce dernier effet, mais il ne peut jamais être complètement absent et on cherche donc à le provoquer dans les parties des tôles qui seront élimées dans la suite du processus de fabrication.[15]

L'emboutissage impose à la tôle différents modes de déformation dont le but est de conduire à l'obtention d'une surface creuse. Le type d'outillage conditionne les deux cas limites de déformation : l'expansion et le retreint (Fig.I.4).

Recherche bibliographique sur le procédé d'emboutissage

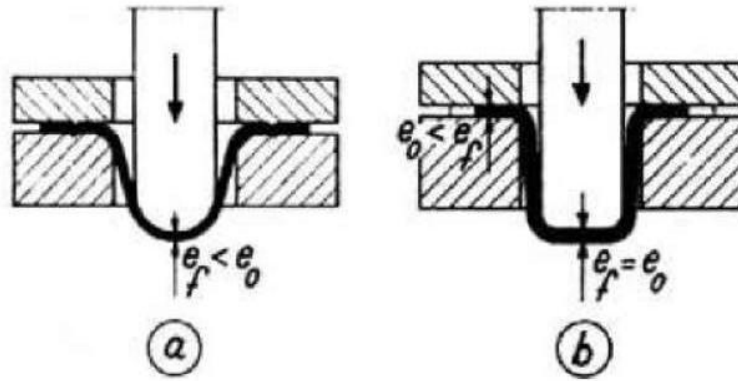


Figure I.4. Principaux déformations par emboutissage.[12]

Le schéma (a) met en évidence un emboutissage par **expansion** sur le poinçon, le flan étant bloqué sous le serre flan : l'épaisseur sous le poinçon diminue.

Le schéma (b) montre un emboutissage profond avec **retreint** du métal glissant sous le serre-flan, l'épaisseur entre serre-flan et matrice diminue.

L'art de l'emboutissage consiste à réaliser le meilleur compromis entre ces deux modes de déformation et à optimiser ainsi l'écoulement du métal entre le poinçon, la matrice et le serre-flan.

I.2.1.3 Outillages:

Le terme « outillage » renvoie la définition très large suivante : « Ensemble des outils nécessaires à une profession ou à un travail ». En se restreignant au domaine de la transformation de matière, il s'agit alors de pièces permettant la mise en forme de produits. La fabrication de produits industriels nécessite généralement la réalisation de parties mises en forme par des outillages (moules ou matrices) puis assemblées pour former un produit. Les quatre catégories d'outillages les plus utilisés sont les moules d'injection plastique, les moules de coulée métallique, les matrices de forgeage et les matrices d'emboutissage [16]. Une distinction est couramment faite entre outillage prototype et outillage de série. Un outillage de série devra, dans la plupart des cas, pouvoir assurer la totalité de la production à réaliser avec la cadence et le niveau de qualité imposés, contrairement à un outillage prototype qui sera, quant à lui, destiné à réaliser une seule pièce ou une petite série de pièces dans un but de validation de produit [17]. Cette distinction était nécessaire dès lors que les procédés d'obtention différaient d'un type d'outillage à l'autre (classiquement : usinage et

Recherche bibliographique sur le procédé d'emboutissage

Le bâti est l'ensemble sur lequel repose le système matrice/poinçon. Nous distinguerons les deux cas suivants :

A col de cygne : Cette forme rend la table et le coulisseau très accessible ce qui facilite fortement l'accès à l'outillage et au flan. De plus, ces presses sont souvent inclinés en arrière de façon à permettre une évacuation aisée des emboutis (Fig I.5).

A arcade : Ces presses offrent une meilleure rigidité et peuvent donc développer des efforts plus importants. Elles sont donc principalement utilisées pour la mise en forme de pièces de grandes dimensions ou de grande épaisseur. Elles se présentent de la même manière que les presses à col de cygne, mais doivent l'effort qu'elles sont susceptibles de fournir à deux colonne reliant la partie inférieure à la partie supérieure (FigI.5).

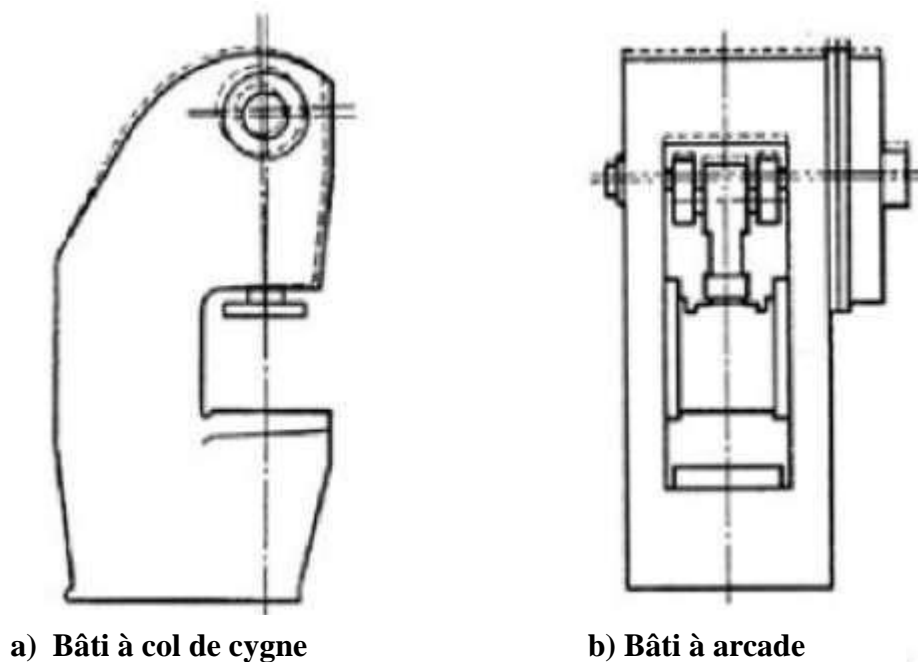


Figure I.5. Presse à col de cygne et presse à arcade.[13]

c) Les coulisseaux

Les coulisseaux représentent la partie mobile de la presse, c'est à dire celle permettant au poinçon d'atteindre la matrice. Ils sont soit en fonte soit en acier afin de permettre des efforts plus importants. La partie inférieure, appelée semelle, comporte des usinages pour assurer la fixation de l'outil : rainures en T pour les outils de taille importante, en alésage pour le nez de fixation des petits

Recherche bibliographique sur le procédé d'emboutissage

outils. [19]

Les coulisseaux sont de formes variables suivant le type de presse utilisé. Nous distinguons :

- Les presses simples effet qui ne comportent qu'un seul coulisseau actionné.
- Les presses doubles effet, composées d'un coulisseau serre-flan guidé par le bâti, et d'un coulisseau poinçon.
- Les presses triples effets, identiques aux presses double effet, et équipées d'un coulisseau inférieur qui possède sa propre vitesse. Elles permettent de réaliser des contres emboutis peu profonds évitant ainsi des opérations de reprise sur une autre presse.

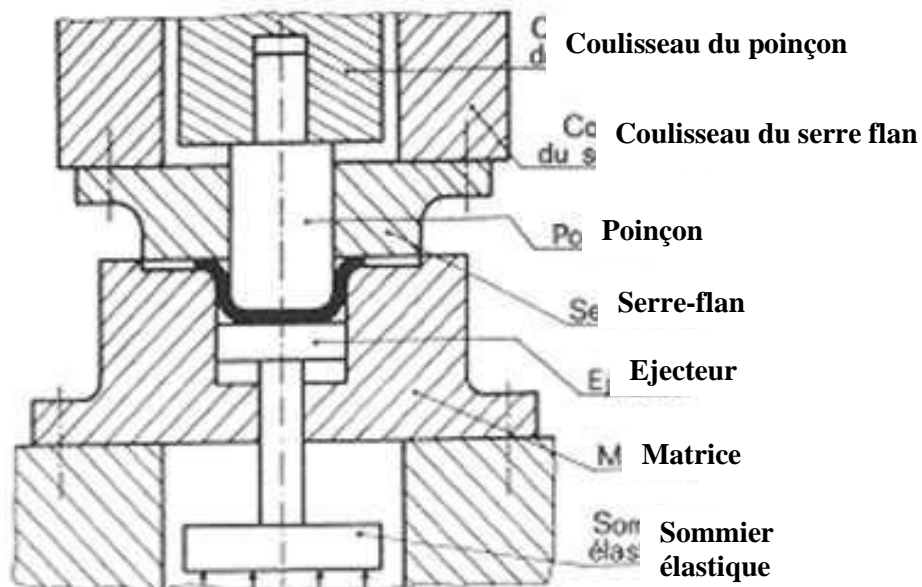


Figure I.6. Outil direct sur presse à double effet [15]

Recherche bibliographique sur le procédé d'emboutissage

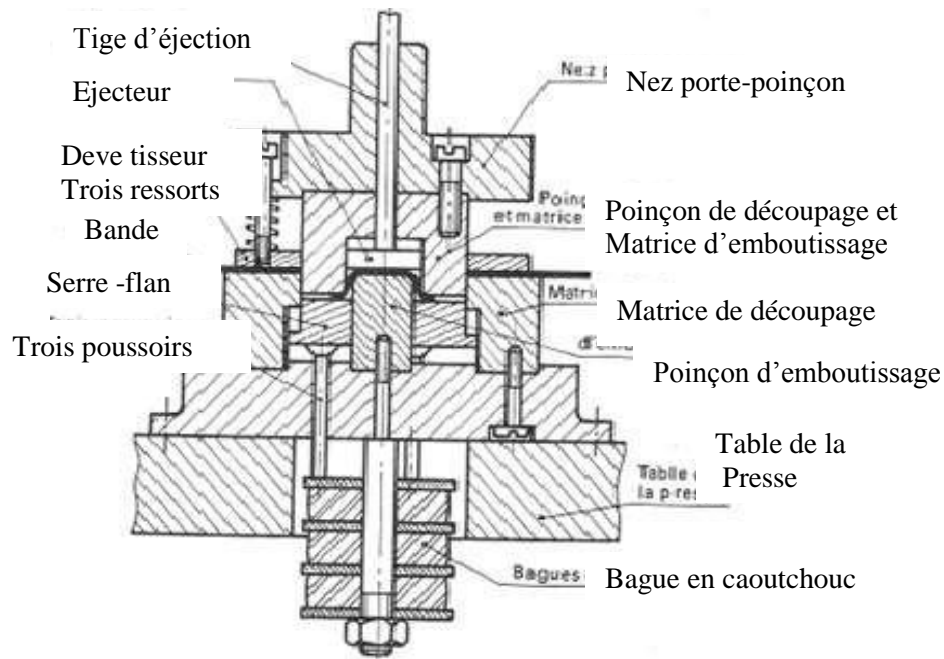


Figure I.7. Outil à découper et à emboutis [15]

I.2.2 Les paramètres du procédé.

Lors de l'emboutissage d'une pièce, que ce soit en laboratoire ou en industrie, plusieurs paramètres permettent d'aboutir à un embouti de bonne qualité. Ces réglages doivent tenir compte de la nature de la tôle, ainsi que de la forme souhaitée. [14]

Une presse, ou une machine de traction ayant pour objectif la réalisation d'emboutis, sont composées d'une matrice, d'un poinçon et d'un serre flan (Fig. I.2). Cet outillage offre déjà plusieurs possibilités de réglages :

- La pression du poinçon.
- La vitesse du poinçon.
- La pression de serrage des serres flan.
- Le jeu entre le poinçon et la matrice.

A ces paramètres, il faut ajouter la lubrification, la taille optimale de la tôle ainsi que son épaisseur. Les nombreuses interactions existant entre ces paramètres font que pendant longtemps, l'emboutissage est resté un art.

Ces réglages doivent être précis car ce sont eux qui déterminent la qualité du produit final, mais doivent également tenir compte du besoin de rentabilité de l'entreprise. En effet, si la vitesse de poinçon est trop faible, la durée de mise en forme d'une pièce dépasserait son niveau de rentabilité.

Recherche bibliographique sur le procédé d'emboutissage

I.2.2.1 Paramètres lié à la presse:

a) Le jeu entre le poinçon et la matrice

Lorsque l'espace entre le poinçon et la matrice est théoriquement égal à l'épaisseur de la tôle, il se produit une augmentation de l'épaisseur de la paroi. L'augmentation de ce jeu a une influence favorable sous l'effet du poinçon mais entraîne certains inconvénients tels que :[20],[21]

- La détérioration du profil de la paroi.
- Déviation du poinçon entraînant la formation de languettes sur le bord de l'embouti.
- Apparition de plis sur la paroi de l'embouti.

Inversement, si l'épaisseur du flan est plus grande que l'espace existant entre le poinçon et la matrice, il se produit un écrasement et un amincissement indésirables de la paroi.

b) Le rayon sur la matrice

Ce paramètre a une très grande importance autant pour la qualité de l'embouti que pour la répartition des forces. En effet, on comprend parfaitement que dans les deux cas extrêmes ci-dessous, l'emboutissage n'est pas viable.

On observera pour $r = 0$ un déchirement du flan et pour $r = (D-d)/2$ la formation de plis.

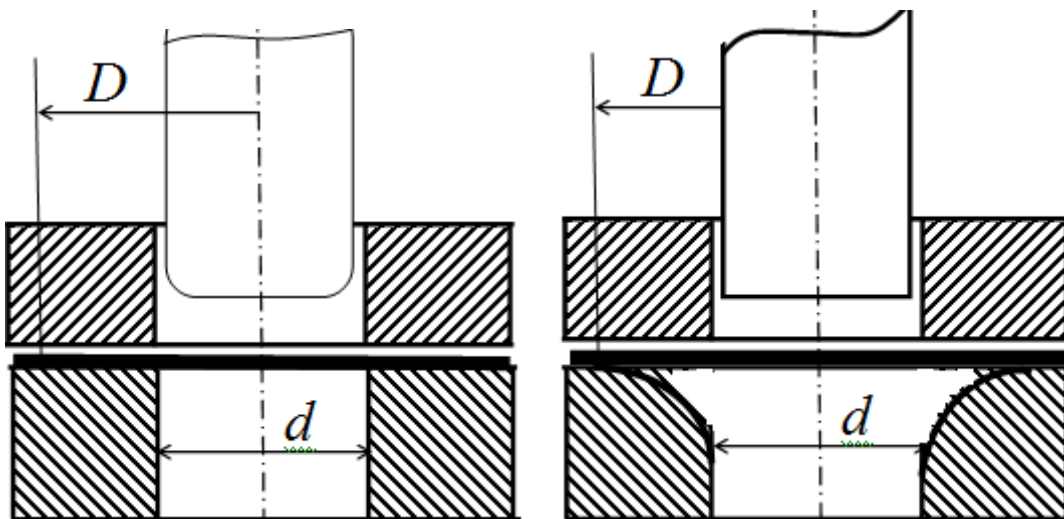


Figure I.8. Variation de l'arrondi sur la matrice et le poinçon. [12]

b) Arrondi sur le poinçon

Recherche bibliographique sur le procédé d'emboutissage

La partie de la tôle qui se trouve en contact avec la surface inférieure du poinçon subit l'action des forces de frottements qui empêchent la matière de bouger. L'effort du poinçon se transmet aux parois de l'embouti. Le poinçon doit contenir un arrondi pour ne pas percer le flan. Généralement, on prend le rayon du poinçon inférieur à celui de la matrice.

c) La vitesse d'emboutissage

Elle se définit comme la vitesse du poinçon au moment de l'attaque de la tôle. Les transformations que subit le métal à froid entraînent un écrouissage de celui-ci dépendant de cette vitesse. Une vitesse trop faible, tend donc à générer un écrouissage trop important sur le métal, le rendant moins malléable. Une grande vitesse tend à empêcher la propagation de la force du poinçon jusqu'au niveau du flan. Cette altération pouvant alors se traduire par une rupture du flan.

d) La pression du serre-flan

La suppression des plis est un des objectifs majeures de l'emboutissage. Le rôle du serre-flan consiste à empêcher la formation de plis sur le rebord du flan en exerçant une pression appropriée.

La présence du serre-flan ne s'impose que si $d < 0,95 * D$ ou $e < 0,2 * (D-d)$.

Dans la pratique, il faut que le serre-flan soit bien trempé et rectifié. La pression est réglée à l'aide de clés dynamométriques, de ressorts ou de caoutchouc, en fonction de l'aspect de l'embouti: -Si la paroi est sans plis et d'aspect brillant, la pression est adaptée.

- Si la paroi est bonne mais que les bords supportent des marques de dentures, c'est que la pression est trop faible.
- S'il se produit un déchirement lors de la descente du poinçon, c'est que la pression est trop importante.

Il est également possible de faire appel à une installation pneumatique ou hydraulique offrant un réglage de la pression plus facile qu'avec un dispositif à ressort ou en caoutchouc.

e) L'effort d'emboutissage:

L'effort nécessaire pour emboutir des pièces cylindriques dépend tout d'abord des diamètres de l'embouti et du flan primitif, de l'épaisseur et de la qualité de la

Recherche bibliographique sur le procédé d'emboutissage

tôle Il dépend également de la pression de serre-flan, de la vitesse d'emboutissage, de l'arrondi de la matrice, du jeu entre poinçon et matrice et de la lubrification.

Il est difficile de tenir compte de tous ces facteurs dans la détermination de la pression du poinçon, c'est pourquoi il est commun d'employer les formules simplifiées suivantes :

Pression partielle

$$P_p = \pi \cdot d \cdot e \cdot m \quad [I.1]$$

Avec $m = d / D$

Effort exercé par le serre-flan

$$P_s = p \cdot (D^2 - d^2) \cdot \frac{\pi}{4} \quad [I.2]$$

P_p : Pression partielle [Kgf]

d : diamètre du poinçon [mm]

e : épaisseur du flan [mm]

P_s : Effort exercé par le serre-flan [Kgf]

D : diamètre de la matrice [mm]

I.2.2.2 Paramètres liés à la tôle

a) La taille de la tôle

Il est important de déterminer la taille du flan primitif pour d'une part économiser la matière et d'autre part faciliter l'emboutissage. La détermination des dimensions du flan a pour base l'égalité des volumes de l'embouti et du flan primitif. [20],[22]

b) Lubrification

Parmi les techniques permettant de maîtriser le frottement, l'adhésion et l'usure entre deux corps, la lubrification est certainement la plus courante et la plus anciennement pratiquée. Elle consiste à intercaler entre les deux corps, un troisième corps de faible scission et de contrainte de rupture faible.

Ainsi, une lubrification adaptée facilite l'écoulement de la tôle entre la matrice, le serre-flan et le poinçon. Cependant, la lubrification de la partie centrale du flan a un effet néfaste. On peut expliquer ce phénomène par le fait que lubrifier

Recherche bibliographique sur le procédé d'emboutissage

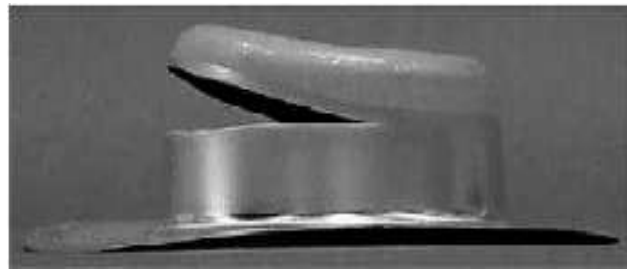
diminue l'adhérence entre le poinçon et les parois de l'embouti. L'effort est alors concentré sur le fond de l'embouti à proximité duquel il y a rupture. C'est pour cette raison qu'il n'est utile de lubrifier que la face du flan opposée au poinçon.

La maîtrise des différentes paramètres opératoires et de leurs interactions ainsi de mauvais réglage tendent à entraîner un défonçage, la formation de plis, le blocage du poinçon en fond de course...[23]

Ceci aboutit à de longs réglages des presses et des outillages entre chaque changement de séries, ce qui contribue à réduire la productivité et donc à augmenter le prix de revient de la pièce.



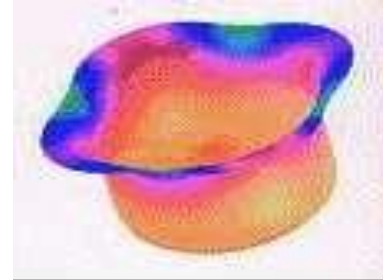
a) Plissement



b) Déchirure



c) Retour élastique



d) Effets de l'anisotropie

Figure I.9. Les différents défauts de l'embouti. [23]

I.3 Travaux antérieurs

La maîtrise et l'optimisation des procédés de fabrication (et en particulier la fabrication sans enlèvement de la matière) est un enjeu de grande importance permettant de minimiser les coûts et les délais de fabrication et de satisfaire les exigences techniques et dimensionnelles de la pièce finie. Dans ce contexte, plusieurs études ont été menées sur la conception et la réalisation des outils d'emboutissage. Ces études consistent généralement à rechercher un matériau plus économique qu'un autre du point de vue temps de fabrication et coût de

Recherche bibliographique sur le procédé d'emboutissage

réalisation et qui répond aux conditions de réussite d'une opération d'emboutissage.

Les recherches bibliographiques effectuées sur les travaux antérieurs nous permis de citer les résultats suivants :

BURLAT.M, [7], en 1998 il a fait une analyse mécanique et tribologique de l'emboutissage appliquée aux outils fabriqués par combinaison des différents matériaux afin de réduire leur coût étant donné les contraintes liées à l'emboutissage, il est indispensable de conserver un matériau métallique au niveau de la surface des outils. Puis il a proposé une méthode consiste à fabriquer par électroformage une peau métallique pour garder toujours le contact outil /tôle en métal, des calculs par éléments finis pour modéliser complètement l'opération d'emboutissages ont achevés et finalement ceci abouti à la réalisation d'un outil dont la " conception et la fabrication ont été validées par des essais à caractère industriel.

SCHWARTZENTRUBER. A, [6] a essayé de concevoir un outil d'emboutissage en béton hydraulique recouvert avec une peau métallique, qui ensuite servi comme un moule, on étale complètement le moule avec une couche de résine de coulage puis on coule le béton hydraulique dans la peau et laisser l'ensemble solidifier.

A partir du constat du prix de revient et du délai de fabrication des outils standards, nous avons constaté que les techniques de fabrication des outils d'emboutissage par un empilement de strates métalliques, assemblés par diverses techniques (collage, vissage, boulonnage...), peuvent présenter un intérêt en matière de coût et de temps de fabrication, mais le savoir-faire pour les concevoir, les construire et les employer avec succès dans l'industrie de l'emboutissage n'est pas encore maîtrisé. A constaté OUDJENE.M,[8] et qui a proposée proposer une méthodologie numérique pour dimensionner, voire optimiser les outils stratifiés.

Dans le même contexte TAFRAOUI. A et LIBAILI. S, [9] sont arrivé à concevoir et réaliser des outils d'emboutissage des tôles minces en béton de poudre réactive BPR200, où ils ont confirmé que l'un des facteurs qui conditionne les performances des outils d'emboutissage en béton est l'état de la surface travaillante de l'outil. En effet ils ont présenté les dispositions prises afin d'obtenir des outils présentant un état de surface compatible avec les conditions

Recherche bibliographique sur le procédé d'emboutissage

d'emboutissage. En premier lieu ont conçu un prototype d'outil de mise en forme de tôle mince en béton de poudre réactive à partir d'un moule en plastique qui ne présente pas de complexité géométrique car ils veulent par cette étude d'essayer de concrétiser et de valoriser dans un premier temps la possibilité de réalisation des outils d'emboutissage en béton de poudre réactive de pièces simples de petite dimension au laboratoire. Fig.I.10. Par contre, ces outils restent limités actuellement aux très petites séries (<100 pièces), reste à les tester sur des presses quasi-industrielles.

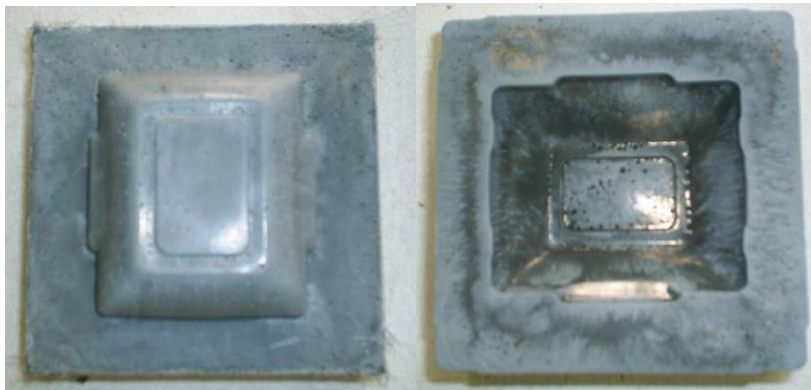


Figure I.10. Outils d'emboutissage en Béton BUHP[9]

I.4 Valorisation du sable des dunes (sable de la région du SAOURA)

I.4.1 Introduction

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'une caractérisation physico-chimique du sable prélevé de l'erg occidental de l'ALGERIE, afin de déterminer les taux et la nature de ses différents composants. Et de découvrir un gisement riche en silice renfermant des réserves suffisantes pour alimenter dans le futur des unités de productions du silicium pur à partir de la silice, et de l'importance économique actuelle et future du silicium appliqué dans le domaine d'énergie solaire (cellules photovoltaïques). Jusqu'aujourd'hui notre pays importe le silicium pur, le temps est venu à chercher sur son élaboration localement. Les échantillons ont été prélevés le long de l'erg sur les régions suivantes IGLI, TAGHIT, BENI ABBES, ADRAR, TIMIMOUNE afin de trouver le gisement le plus riche en silice et de pouvoir comparer leurs granulométries. Ce matériau peut être utilisé dans plusieurs domaines comme le génie civil, génie mécanique,

Recherche bibliographique sur le procédé d'emboutissage

électronique, énergie renouvelable.



Figure I.11. Image satellite du Sahara Algérien [9]

Aujourd'hui, lorsqu'on évoque ce sable de l'erg, c'est principalement pour rappeler qu'il engloutit les terres, les palmeraies, et menace d'envahir certaines oasis.

Pourtant, en modifiant notre point de vue, le sable de l'erg peut être considéré comme une source quasi inépuisable de matériau. L'utilisation et l'exploitation future de ce type de sable constituent ainsi une des nouvelles préoccupations des chercheurs et intéressent différents domaines comme la microélectronique, l'énergie solaire (cellule photovoltaïque), la métallurgie, le génie civil, et le génie mécanique. Ses applications et son exploitation sont liées à sa teneur en silice et à la taille, la forme et la nature de ses grains. Notre présente étude s'inscrit dans cette politique de valorisation du sable de l'erg. Son exploitation en photovoltaïque présente un grand intérêt économique et environnemental pour l'Algérie. La hausse de la demande du silicium dans le monde et notamment en Algérie, nous ont poussé à étudier la faisabilité d'extraire du silicium du sable de l'erg. Après avoir présenté une définition d'un sable et rappelé ces principaux constituants, nous décrirons d'abord les techniques utilisées pour caractériser physiquement et chimiquement les sables de l'erg et nous détaillerons ensuite les résultats obtenus (étude réalisée en Algérie).

I.4.2. Les sables de dunes

I.4.2.1 Définition

Le sable est un produit de la désagrégation lente des roches sous l'action des agents d'érosion tels que l'air, la pluie etc. Les déserts de sable, ou ergs, se localisent dans les vastes cuvettes d'épandage ou des puissantes accumulations alluviales se sont concentrées par de grands écoulements liés aux périodes pluviales du début du quaternaire. Les grands ergs coïncident avec des zones où des vents saisonniers de directions variées se compensent.

Les dunes existent sous trois formes [24] :

- la barkhane est une dune en forme de croissant, à convexité au vent. Elle naît là où l'apport de sable est faible et sous des vents unidirectionnels (Figure I.12A) ;
- la dune parabolique est une dune dissymétrique en forme de fer à cheval à concavité au vent souvent plus ou moins fixée par la végétation (Figure I.12B). Sa disposition par rapport à la direction du vent est donc inverse de celle de la barkhane. La dune parabolique est peu mobile et généralement ne migre guère une fois qu'elle est formée ;
- les siouf ou sif, dunes en forme de sabre, sont des ondulations longitudinales s'amincissant vers une extrémité (Figure I.12C).

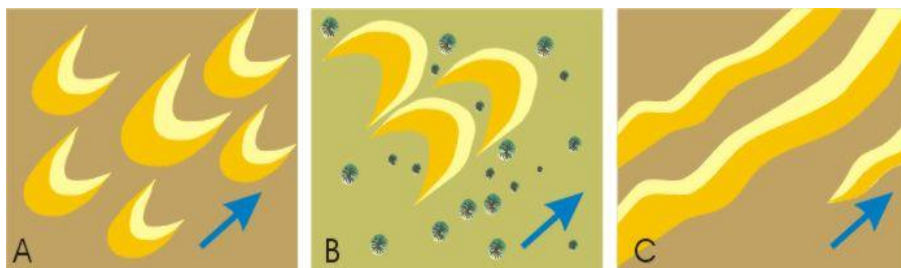


Figure I.12. Types de dunes. A: barkhanes ; B: dunes paraboliques ; C: dunes

longitudinales. La flèche bleue indique la direction du vent dominant

Le sable est considéré comme un sédiment détritique meuble composé, en l'absence totale de ciment, de grains jointifs mais libres, dont la taille est

Recherche bibliographique sur le procédé d'emboutissage

comprise entre 64 μm et 2 mm [25]. La valeur de cet intervalle diffère d'ailleurs suivant les auteurs : entre 20 μm et 2 mm pour [26], et entre 50 μm et 5 mm pour [27].

Tout sable connaissant un début de cimentation, aussi faible soit-il, est par convention considéré comme un grès. Le terme sable est en fait très général, la qualification se référant au seul critère granulométrique. C'est ainsi que le terme sable, employé sous qualificatif indiquant l'origine, est impropre. On parle de sable quartzeux lorsqu'il est composé de grains de quartz, de sable calcaire si les éléments constitutifs sont des grains de calcaires, de sable micacés...etc.

Le sable est composé de différents minéraux, tels que la silice, les silicates, les carbonates et les argiles (les silicates sont la famille la plus abondante dans la nature, représentant 90 % en masse de l'écorce terrestre). Les sables de dunes étudiés sont essentiellement des sables siliceux, les carbonates et les argiles se trouvant sous forme de traces.

I.4.2.2. Origines des sables étudiés

Cinq prélèvements ont été effectués dans différentes régions le long de l'erg occidental du sud-ouest de l'Algérie (représentées par des drapeaux sur l'image satellite (Figure I.13) :

- ✓ la région de Taghit (Wilaya de BECHAR).
- ✓ la région d'Igli (Wilaya de BECHAR).
- ✓ la région de Beni Abbes (Wilaya de BECHAR).
- ✓ la région de Ouled Saïd (Ksar FATIS) (TIMIMOUN).
- ✓ la région de Charouine (Ksar AGDAL) (Wilaya d'ADRAR).



Figure I.13. Image satellite des régions de prélèvements dans l'erg occidental du Sud-Ouest[9]

I.4.2.3 Méthodes de caractérisations physico-chimiques

Plusieurs méthodes ont été utilisées pour caractériser les différents sables :

Une étude physique pour déterminer la granulométrie et la forme des grains de ce type de matériau, des observations au microscope optique et au microscope électronique à balayage pour décrire la morphologie du sable de dune ;

Une analyse chimique par spectrométrie de rayon X pour donner des informations quantitatives relatives aux types d'éléments présents.

a) Analyse granulométrique

En ce qui concerne l'analyse granulométrique, nous avons choisi d'effectuer notre analyse par tamisage, méthode grâce à laquelle le sable peut être dissocié du gravier, du limon et de l'argile suivant l'échelle de Wentworth, [28] et Pettijohn [25] (voir Figure I.14) :

le gravier : diamètre de grain supérieur à 2 mm ;

la fraction sableuse : entre 64 μm et 2 mm [EN 12620, 2003] ;

le limon et argile (grains inférieurs à 64 μm) [29].

Recherche bibliographique sur le procédé d'emboutissage

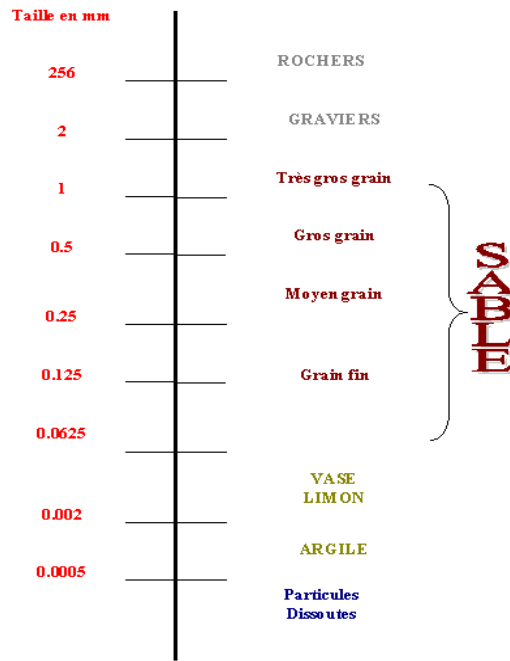


Figure I.14. Classification des sédiments par taille selon l'échelle de Wentworth

Les échantillons sont tamisés à sec pendant 15 minutes dans un tamiseur mécanique.

Il existe différents indices qui permettent de caractériser de manière chiffrée les résultats d'une analyse granulométrique, notamment à partir de la courbe granulométrique cumulative. Le quartile 1 (Q1) est la valeur du diamètre à 25 % de la courbe, la médiane (Q2) est la valeur du diamètre à 50 % de la courbe, le quartile 3 (Q3) est la valeur du diamètre à 75 % de la courbe.

A partir des courbes cumulatives, on définit un indice de classement S_o (sorting-index de Trash) qui permet d'apprécier le degré de classement d'un sédiment par rapport à la taille

des grains. Cet indice est calculé selon l'équation (I.3) :

$$S_o = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}} \quad [I.3]$$

A partir de la valeur de cet indice, les sédiments peuvent être classés (Tableau I. 1).

Recherche bibliographique sur le procédé d'emboutissage

Tableau I.1. Classement d'un sédiment selon [30]

Valeur de l'indice S_o	Degré de classement
$S_o < 0,5$	Extrêmement bien classé
$0,5 < S_o < 1$	classé
$1 < S_o < 2,5$	Très bien classé
$2,5 < S_o < 3$	Bien classé
$3 < S_o < 4$	Normalement classé
$4 < S_o$	Faiblement classé Très mal classé

Pour les échantillons dont l'histogramme des fréquences relatives est uni-modal, un autre indice peut être utilisé. Il s'agit de l'indice (ou coefficient) d'asymétrie S_k (Skewness de Trask) [30] qui exprime la symétrie du mode de l'histogramme par rapport à la médiane. Il est déterminé à partir de l'équation (I.4) :

$$S_k = \frac{Q_1 \times Q_3}{(Q_2)^2} \quad [I.4]$$

On définit 3 classes selon la valeur de S_k :

Si $S_k < 1$, le classement est maximum vers les fines ;

Si $S_k = 1$, la symétrie est parfaite ;

Si $S_k > 1$, le classement est maximum vers les grossiers.

b) Observations microscopiques

Le premier niveau d'observation a pour but de déterminer, à l'aide d'un microscope optique équipé d'un dispositif à lumière naturelle et lumière polarisée, les caractéristiques géométriques des différents minéraux existants dans les sables.

Le principe en est le suivant : un rayon lumineux issu d'une source ponctuelle présente une asymétrie de révolution, le vecteur amplitude de la vibration électromagnétique vibre à chaque instant dans toutes les directions, perpendiculairement à l'axe de propagation du rayon lumineux. Des dispositifs optiques spéciaux (prismes de Nicol, Polaroids) permettent d'obtenir une lumière polarisée, c'est-à-dire une lumière dont le vecteur amplitude ne vibre plus que dans une seule direction.

Recherche bibliographique sur le procédé d'emboutissage

D'un point de vue pratique, nous dispersons les grains de sable sur des lames noires et nous les observons au microscope optique sous une lumière naturelle et sous une lumière polarisée.

Le second niveau d'observation se fait à l'aide d'un microscope électronique à balayage (M.E.B.). Dans le M.E.B, la plus grande importance est donnée au système de formation des images, grâce à un faisceau d'électrons plus fin, un dispositif de balayage complet et des détecteurs variés.

L'interaction électrons matière donne naissance à divers rayonnements qui transportent des informations de l'objet dont ils sont issus : électrons secondaires et rétrodiffusés, électrons transmis, rayons X :

- la formation d'image par les électrons secondaires est le mode d'image de base dans les microscopes à balayage courants. Les émissions d'électrons secondaires sont des électrons de faible énergie (inférieure à 50eV) qui ne peuvent émerger de l'échantillon que s'ils ont été émis à partir d'une couche superficielle d'une centaine d'angströms (Å) d'épaisseur. L'image formée est liée à la composition locale de l'échantillon et à sa topographie (grande analogie avec l'image optique) ;
- la formation d'image par les électrons rétrodiffusés, de plus forte énergie, permet de mettre en évidence les contrastes topographiques ou, sur des échantillons plans, chimiques : en effet, l'interaction rayonnement matière dépend du numéro atomique moyen de l'élément observé ;
- l'analyse des rayons X qui présentent la plus forte énergie et sont donc les plus pénétrants dans la matière étudiée, permet de connaître sa composition chimique.

c) Analyse élémentaire par diffractométrie des rayons X

La diffractométrie par rayon X est une méthode d'analyse d'éléments dont le nombre atomique varie de $Z = 11$ (on ne peut pas analyser les éléments légers comme B, C, H, O car les valeurs des longueurs d'ondes λ de ces éléments sont très grandes [31] jusqu'à

$Z = 92$ dans la gamme de concentration 3 ppm à 100 % (106ppm). Elle étudie les processus de diffusion, d'absorption et d'émission des rayons X.

En effet, lorsqu'un échantillon est bombardé par des rayons X, ce rayonnement provoque l'émission de son spectre. Ce spectre est appelé diffraction par rayon X (DRX) car le mode d'excitation concerne les photons. Le spectre est formé de raies caractéristiques des différents éléments présents dans l'échantillon.

Recherche bibliographique sur le procédé d'emboutissage

Pour effectuer une analyse de DRX, on procède de la manière suivante :

- broyage de l'échantillon (de la même manière que pour la diffraction des rayons X) ;
- préparation de perles ou pastilles.

L'échantillon à analyser est irradié par un faisceau de rayons X primaires. L'analyse des rayons X secondaires caractéristiques émis par l'échantillon renseigne sur la composition de ce dernier. Les rayonnements X caractéristiques d'un atome étant, en première approximation, indépendants de son état chimique, cette méthode fournit des spectres particulièrement simples, mais qui ne nous renseignent que sur la composition élémentaire.

La DRX est généralement une technique d'analyse globale portant sur une surface de plusieurs cm².

I.5 Résultats

I.5.1 Analyses granulométriques

La Figure I.15 rassemble les résultats des analyses granulométriques, sous forme de courbes cumulatives, pour les cinq échantillons.

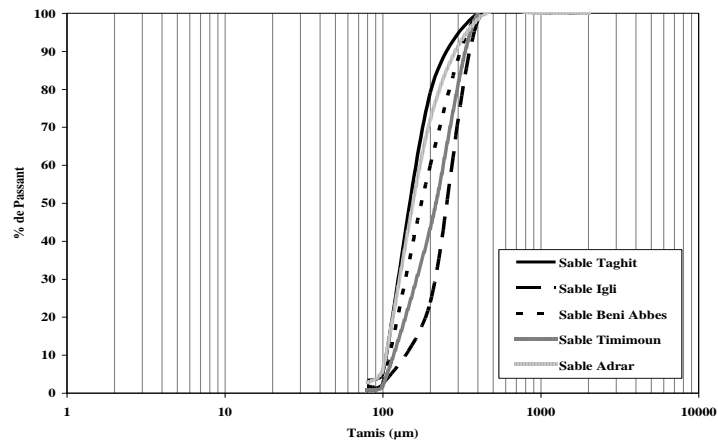


Figure I.15. Courbes cumulatives des différents échantillons [9]

Le Tableau I.2 donne les valeurs des différents indices déduits des courbes cumulatives (Q1, Q2 et Q3) ou calculés (S0 et Sk).

Tableau I.2. Indices des différents échantillons déduits des courbes cumulatives ou calculés

Recherche bibliographique sur le procédé d'emboutissage

Echantillons	Q1 (25%)	Q2 (50%)	Q3 (75%)	So	Sk
Taghit	0,12 mm	0,15 mm	0,18 mm	1,22	0,96
Igli	0,20 mm	0,25 mm	0,32 mm	1,26	1,02
Beni Abbes	0,13 mm	0,18 mm	0,27 mm	1,44	1,08
Timimoun	0,14 mm	0,21 mm	0,29 mm	1,44	0,92
Adrar	0,13 mm	0,16 mm	0,21 mm	1,27	1,07

D'après les courbes cumulatives des différents échantillons, on peut conclure que la granulométrie est relativement homogène pour l'ensemble des régions de prélèvements du sable.

Si l'on se réfère au Tableau I.2, tous les échantillons sont à considérer comme étant « bien classés », avec des indices de classement S_o compris entre 1 et 2,5 (Tableau I.1). En outre, les coefficients d'asymétrie S_k des échantillons étudiés sont très proches de la valeur 1 qui traduit une symétrie parfaite. Nous pouvons en conclure que la distribution est quasiment parfaite et que nos sables sont bien classés [32].

Enfin, en première approche et si on ne considère que l'étendue granulaire, on peut considérer que tous les sables étudiés sont équivalents.

I.5.2 Observations au microscope optique et au MEB

Les observations au microscope optique et au MEB ont été réalisées uniquement sur le sable de Taghit. Quelques photos caractéristiques de ce sable de dune sont présentées sur la Figure I.16 (microscopie optique) et la Figure I.17. Les analyses chimiques élémentaires par EDX sont présentées sur la Figure I.18.

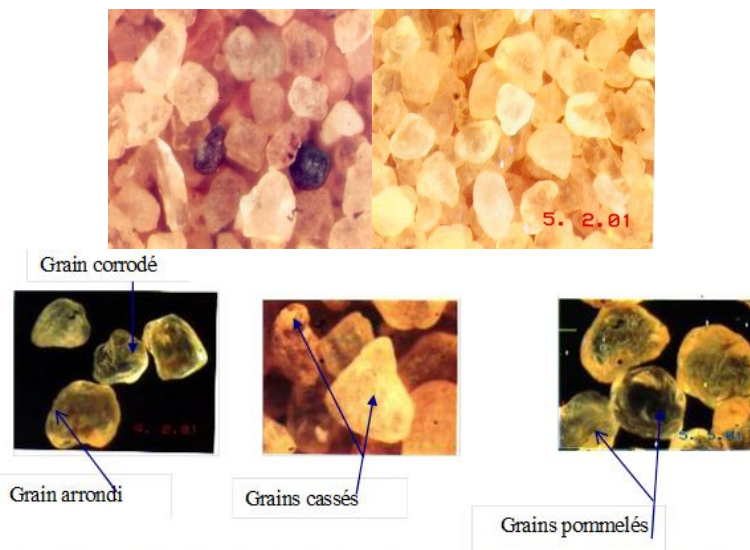


Figure I.16. Observations des grains de sable au microscope optique[9]

Recherche bibliographique sur le procédé d'emboutissage

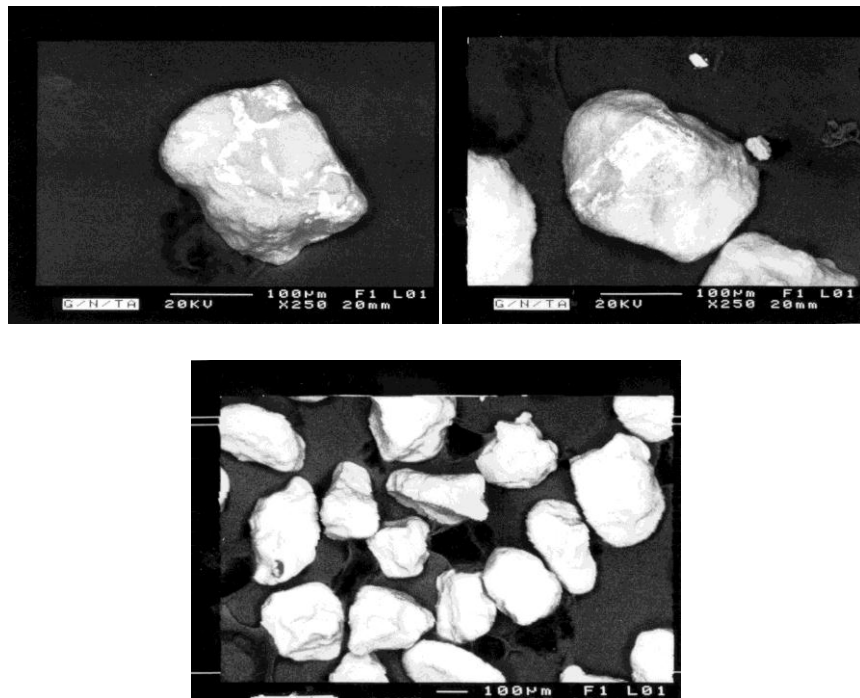


Figure I.17. Observations des grains de sable au MEB[9]

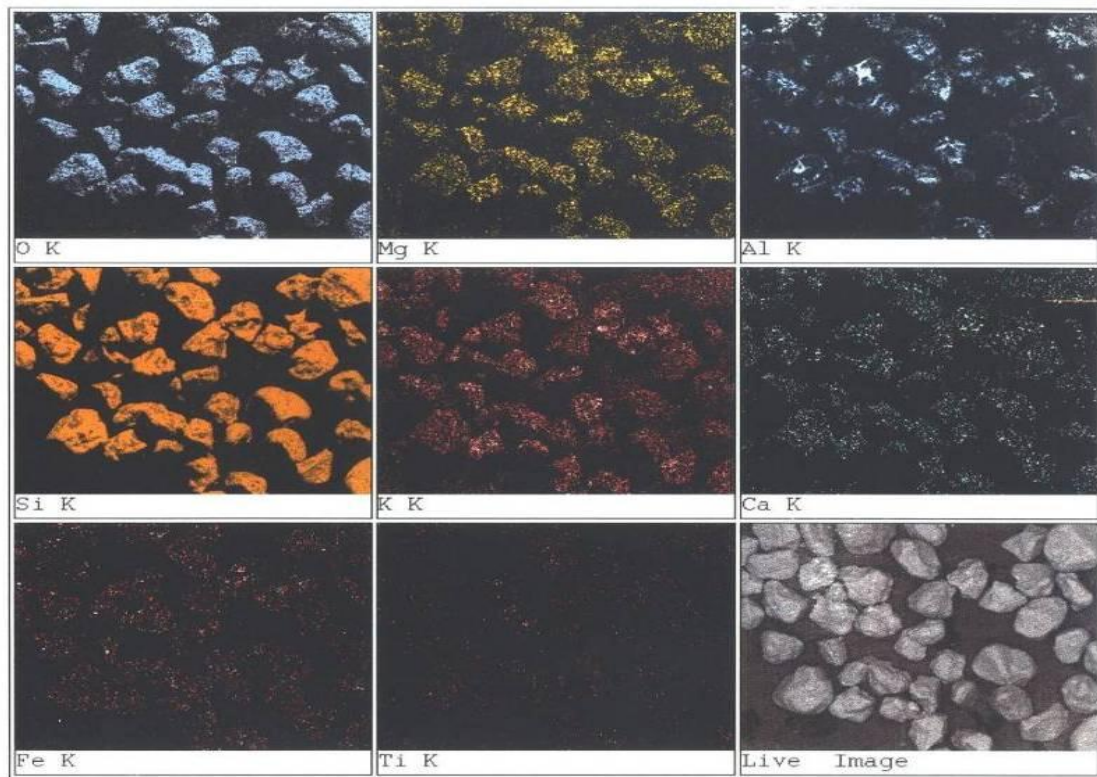


Figure I.18. Analyse chimique élémentaire par EDX[9]

L'observation au microscope optique (Figure I.16), nous a permis d'identifier et

Recherche bibliographique sur le procédé d'emboutissage

de qualifier les minéraux suivants :

- le quartz : il apparaît dans une couleur blanche ou sous un teint jaune si la lame est un peu épaisse ($> 0,03$ mm). Les grains sont majoritairement arrondis mais peuvent aussi être pommelés ou cassés ;
- les oxydes de fer : ils se présentent soit sous forme de grains indépendants, soit ils enrobent les grains de quartz, soit ils sont sous forme d'inclusions dans le quartz. Ils sont opaques et apparaissent sous une couleur noire à rougeâtre.

Nous n'avons pas observé d'autres minéraux tels que la calcite, l'anhydrite ou la dolomite (mis en évidence par ailleurs), mais ceci est dû à leurs très faibles proportions dans ce sable.

Au MEB (Figure I.17), les formes pommelées, cassées ou arrondies observées au microscope optique sont confirmées.

L'analyse chimique élémentaire par EDX (Figure I.18) montre la dominance du silicium (et d'oxygène associé) dans les échantillons ainsi que la présence de quelques éléments à l'état de traces, à savoir le magnésium, l'aluminium, le potassium, le calcium, le fer et le titane.

I.5.3 Analyses élémentaires par diffraction des rayons X

Les résultats d'analyse élémentaire par DRX menée sur le sable de Taghit sont présentés graphiquement sur la Figure I.19. Nous remarquons un pic d'environ 100 % de silice qui traduit la dominance du SiO_2 dans le sable analysé, les autres éléments révélés étant le CaCO_3 et le Fe_2O_3 présents à de faibles pourcentages.

Pour détecter la fraction des sables la plus riche en silice, nous avons effectué ces analyses par coupures granulaires (obtenues par tamisage). Les résultats sont présentés sous forme d'oxydes dans le Tableau I. 3 :

- nous remarquons une prédominance de la silice dans toutes les fractions ($>$ à 92% pour les fractions supérieures à 0,04 mm). On trouve ensuite, par ordre décroissant des pourcentages d'oxydes, l'aluminium (Al_2O_3), le calcium (CaO) ou le fer (Fe_2O_3), le potassium (K_2O), les autres éléments (Ti, P, Mn, Cr, Na) étant sous forme de traces ($<1\%$) Nous constatons aussi que le pourcentage de silice diminue de la fraction 0,20 mm à la fraction 0,04 mm, alors que les autres éléments (Fe, Al, Ca, P, Mg, K, Na, Ti) augmentent en pourcentage, à l'exception du S, Mn et Cr, qui restent presque constants dans les différentes fractions, et du Mg dont la teneur est variable selon la fraction.

Recherche bibliographique sur le procédé d'emboutissage

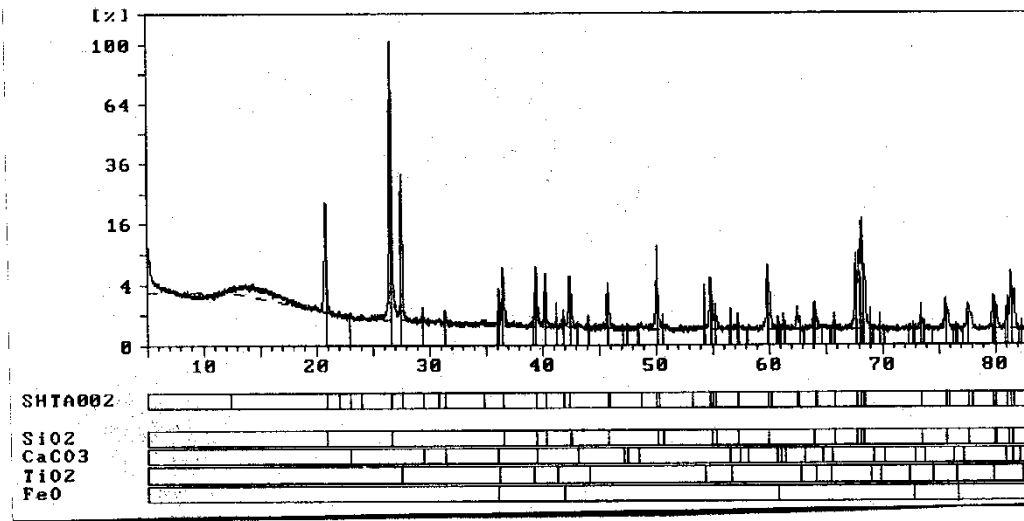


Figure I.19. Analyse par DRX d'un sable de dune (Sable de Taghit) [9]

Tableau I.3.. Résultats des analyses chimiques élémentaires DRX (en %) (Sable de Taghit)[33]

Fraction (mm)	0-0,04	0,04-0,10	0,10-0,12	0,12-0,16	0,16-0,20	0,20-0,25
%SiO ₂	81,61	92,42	95,18	96,33	97,33	97,15
%Al ₂ O ₃	3,78	2,05	1,41	1,00	0,83	0,79
%Fe ₂ O ₃	2,24	0,99	0,59	0,30	0,24	0,21
%CaO	3,92	0,87	0,27	0,33	0,07	0,11
%MgO	0,63	0,17	0,02	0,47	0,41	0,05
%SO ₃	0,18	0,19	0,16	0,18	0,18	0,14
%K ₂ O	1,08	0,59	0,33	0,10	0,04	0,02
%Na ₂ O	0,48	0,20	0,09	0,09	0,09	0,18
%P ₂ O ₅	0,10	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00
%TiO ₂	0,96	0,56	0,25	0,07	0,05	0,05
%MnO	0,04	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01
%Cr ₂ O ₃	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
%Perte au Feu	4,58	1,61	1,09	0,75	0,65	0,58
%TOT	99,6	99,7	99,4	99,6	99,9	99,3

Recherche bibliographique sur le procédé d'emboutissage

I.6 Conclusion

Nous avons donné les résultats d'une recherche bibliographique d'abord sur les principaux procédés de mise en forme des métaux, puis on a spécifié le procédé d'emboutissage en citant son principe et les différentes machines et presses utilisées ainsi que l'outillage nécessaire.

Par la suite, les différents paramètres du procédé soit ceux reliés à la géométrie des outils ou la presse et ceux reliés à la tôle elle-même sont cités.

A travers l'analyse granulométrique du sable utilisé nous avons permis de mener une caractérisation physico-chimique, et que ces sables sont bien classés et bien triés. Les observations au microscope réalisées sur un de ces sables (sable de Taghit) ont montré que les échantillons sont constitués essentiellement de quartz (SiO_2) sous forme de grains arrondis et suarrondis (riche en silice).

CHAPITRE II

Formulation et conception
d'un outil d'emboutissage

II.1 Introduction

Le béton est un matériau composite constitué de granulats gros et fins (gravier ou pierre concassée, sable), de ciment et d'eau. Le mélange entre le ciment et l'eau forme une pâte qui durcit. La pâte de ciment hydraté et le sable constituent le mortier.

Celui-ci a pour rôle de se lier avec les gros granulats pour former un conglomérat solide. Les adjuvants et les additions servent à améliorer certaines caractéristiques du béton frais ou durci.

La formulation d'un béton c'est déterminer les proportions des différents constituants permettant de satisfaire des propriétés mécaniques exigées par l'utilisateur de ce matériau. Formuler un béton consiste alors à optimiser le squelette granulaire, par un choix judicieux de la proportion de sable et de gravillons, puis à combler la porosité de cet empilement avec la pâte afin d'obtenir l'ouvrabilité désirée, cette pâte étant elle-même déterminée par le rapport eau /ciment pour viser une résistance et une durabilité données.

La conception des moules des outils d'emboutissage avec des différents matériaux (plastique, matériaux composites et silicone) est envisagée à la fin de ce chapitre.

II.2 Matériaux et méthodologie

II.2.1 Ciment

Le ciment choisi dans cette étude est du type composé CPJ CEM II / A 42, 5 de Portland. Il est conforme à la norme algérienne NA 442. Surface spécifique Blaine est égale à 3600 cm² /g, dont les caractéristiques chimiques et physiques sont présentées respectivement dans le Tableau II- 1 et le Tableau II- 2. (Annexe B)

Tableau. II .1. Compositions chimiques en % des matériaux utilisés [33]

Ciment type	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
CEM II/B42.5	55.41	13.65	2.25	14.83

Tableau. II.2. Caractéristiques physiques des matériaux utilisés [33]

	Ciment	Fumée de silice	Sable de dune
Surface spécifique BET (cm ² /g)	3390	230000	115
Dimension moyenne D50 (µm)	-	0,1	250
Densité réelle	3,16	2,24	2,65
Coefficient d'absorption d'eau (%)	-	-	0,15

II.2.2 Granulats

Les paramètres à définir concernant le choix du sable sont : la composition minérale, la taille moyenne, la largeur du fuseau granulaire et la forme des grains. En ce qui concerne la composition minérale, le sable de quartz présente les meilleurs avantages (teneur en SiO₂>98%). C'est aussi un matériau de grande dureté qui permet de surcroît d'obtenir d'excellentes interfaces pâte/granulats.

Du point de vue de la rhéologie, des grains de forme arrondie sont préférables [34]. La dimension maximale du sable utilisé dans les BUHP varie généralement entre 400 et 600 µm. D'après l'analyse physico-chimique du sable de dune [35], le sable quartzique de dune de l'erg occidental de la région sud-ouest de l'Algérie s'avère prometteur dans la formulation des BUHP, dont la granulométrie et les caractéristiques chimiques sont données sur la figure II.1 et le tableau II.3

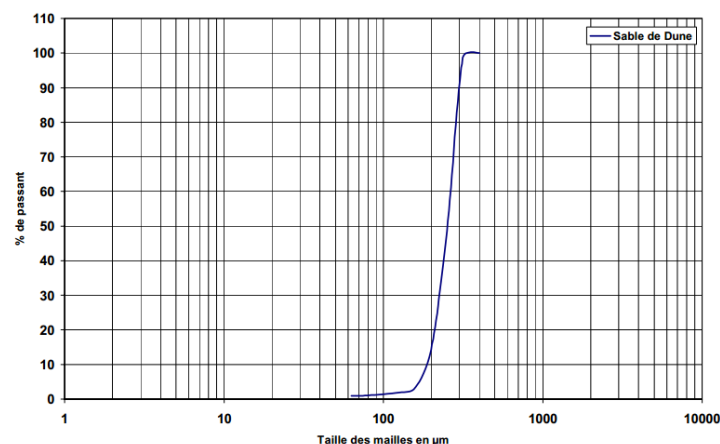


Figure.II.1. L'analyse granulométrique du sable de dune [9]

Tableau II.3. Caractéristiques chimiques en % [9]

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	Perte au feu
sable	97,33	0,830	0,24	0,07	0,41	0,09	0,04	0,18	0,40
ciment	22,50	2,00	2,80	67,30	0,75	0,19	0,19	2,10	3,00
Fumée de silice	95,00	-	-	-	-	0,60	-	-	-
Quartz broyé	98,50	7500ppm	450ppm	300ppm	-	-	5500ppm	-	0,20

Tableau II.4. Caractéristiques physiques en% [9]

	Sable	Ciment	Fumée de silice	Quartz broyé
Surface spécifique BET (cm ² /g)	115	3390	23 (20 à 26)	6900
Dimension moyenne, D50 (µm)	200	-	-	11
Densité réelle	3	3,16	2,24	2,65
Dureté	7	-	-	7

II.2.3 Additions

II.2.3.1 La fumée de silice

La fumée de silice est une ultrafine performante, sa grande finesse lui donne une très bonne capacité de remplissage, et conjuguée à sa structure amorphe, la forte pouzzolane qui en découle permet une augmentation du béton et une amélioration de sa durabilité [36].

La fumée de silice utilisée dans notre travail est une poudre grise assez foncée, commercialisée sous le nom de Condensait S95 DM (SIKA), et issue de l'industrie de la fabrication du Ferro-silicium. Ses caractéristiques chimiques et physiques sont données respectivement dans le Tableau II.1 et le Tableau II. 2. (Annexe D)

II.2.3.2 Sable broyé

Le choix d'une addition par rapport à une autre est en général, après la disponibilité locale à des coûts acceptables, fait en fonction de la teneur élevée en silice [37], [38].

La silice présente les avantages suivants: matériau de grande dureté, permet d'obtenir

Chapitre II Formulation et conception d'outil d'emboutissage

d'excellentes interfaces pâte/granulat est largement disponible. Nous avons utilisé un sable de dune de la région de Béchar, après que les grains de silice ont été réduits à la taille voulue.

Il s'agit ici d'un broyage du sable de dune. Le broyage est effectué à l'aide d'un broyeur conventionnel à boulets, cylindre métallique horizontal mis en rotation et rempli au 1/3 de boulets d'aciers (différentes diamètres) qui broient la matière en se heurtant et en se frottant dans un mouvement de cascade. La figure II.2 montre une photographie de ce sable broyé (dimensions des grains inférieurs à $80\mu\text{m}$).[39],[40]



a) b)
Figure II.2. Représentation du sable de dune broyé a) et broyeur à boulet b).

Les analyses chimiques sont effectuées au niveau du laboratoire de Faculté de génie mécanique USTHB, elles sont présentées dans le tableau suivant:

Tableau II.5. Analyse chimique du SDB (%) [33].

Elements	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Autres P.F.
Sable dune broyé	97,15	0,79	0,21	0,11	0,05	0,14	0,18	0,02	<0,020,58

Du point de vue chimique la constatation importante à signaler est la présence d'un fort pourcentage en silice (minuscules grains de quartz) qui est supérieur à 95%, et par conséquent le sable de dune de Béchar est un sable siliceux. NF P 18-509.

II.2.4 Fibres

Les fibres utilisées sont des fibres métalliques et synthétiques dont le but d'améliorer les propriétés mécaniques de notre béton en particulière la résistance à la traction par flexion et la ductilité.



a) Fibres métalliques

b) Fibres synthétiques

Figure II.3. Le type de fibre utilisé

II.2.5 Adjuvant

Le superplastifiant haut réducteur d'eau employé durant cette étude est produit par la société Sika (Sika 20HE), Il s'agit d'un superplastifiant, conforme à la norme NF EN 934-2 [AFNO2006], à base de copolymère acrylique de nouvelle génération, non chloré et destiné à l'industrie de la préfabrication.

L'utilisation d'un superplastifiant permet de réduire la quantité d'eau de gâchage sans diminuer la maniabilité du matériau. (Annexe C).

II.2.5 Eau

L'eau utilisée pour notre formule est eau potable du réseau.

II.3 Formulations des bétons BUHP

II.3.1 Définition du sable

C'est un produit de la désagrégation lente des roches sous l'action des agents d'érosions tels que l'air, la pluie etc. sable de terre, de mer, de rivière, les sables du désert.

Le sable est considéré comme un sédiment détritique meuble composé, en l'absence totale de ciment, de grains jointifs mais libres, dont la taille est comprise entre 2mm et 64 μm [25], la valeur de cet écart diffère d'ailleurs pour certains auteurs : 2mm à 20 μm pour [26], 5mm à 50 μm pour [27].

Tout sable connaissant un début de cimentation, aussi faible soit-il est par convention considérée comme un grès. Le terme sable est en fait très général, la qualification se référant au seul critère granulométrie. C'est ainsi que le terme sable, employé sous qualificatif indiquant l'origine, est impropre, on parle de sable quartzueux lorsqu'il est composé de grains de quartz, de sable calcaire, si les éléments constitutifs sont des grains de calcaires, amifère, micacé...etc.

Les ergs se localisent dans les vastes cuvettes d'épandage ou des puissantes accumulations alluviales se sont concentrées, par de grands écoulements liés à d'importantes pluviations du début du quaternaire. Les grands ergs coïncident avec des zones ou des vents saisonniers de directions variées se compensent.

Le vent se borne à remanier, presque in situ, des puissantes accumulations alluviales concentrées dans les vastes cuvettes d'épandage ou se localise les ergs.

Les dunes existent sous trois formes : les barkhanes se sont des petites dunes sous forme décroissantes. Les siouf se sont des dunes en forme de sabre, sont des ondulations longitudinales s'amincissant vers une extrémité. [24].

II.3.2 Les différents constituants du sable

Le sable comporte différentes variétés de minéraux, tels que les silicates, la silice, les carbonates et les argiles. Les silicates qui sont la famille la plus abondante dans la nature (90% poids de l'écorce terrestre), les carbonates et les argiles se trouvent sous forme de trace dans notre sable.

II.3.2.1 La silice

Le dioxyde de silicium ou silice occupe, parmi les oxydes, une place exceptionnelle SiO_2 . Les nombreuses applications industrielles (optique, électronique, production de matériaux

réfractaires, etc.) que connaît cette famille minérale accroissent encore l'intérêt des études. Le quartz, que l'on trouve à l'état naturel en cristaux de grandes dimensions incolores, homogènes c'est l'un des minéraux les plus abondants, l'écorce terrestre en contient 12% de son poids. La silice vitreuse existe à l'état naturel sous le nom de le chatelière. On l'obtient au laboratoire par refroidissement de silice fondue ou par hydrolyse de SiCl_4 .

II.3.2.2 Le silicium

Le silicium est un corps simple de symbole Si, numéro atomique 14, de poids atomique 28,08, il ne se trouve jamais à l'état natif, mais constitue, sous forme de silice et de silicate, l'élément le plus abondant de l'écorce terrestre (27,2 %) après oxygène.

Le silicium cristallisé à un aspect métallique, en raison de sa dureté il polit le verre mais il est poli par l'émeri. La densité à 25°C est de 2,33, il fond à 1410°C et bout à 2680°C. On l'utilise de plus en plus pour l'obtention des semi-conducteurs. [41].

II.3.3 Propriétés physiques

La couleur est variable, un monocristal apparaît bleu acier ou bleu ardoise quand la lumière travers une mince pellicule, celle-ci prend un teint brun clair. Le silicium est formé de trois isotopes stables : 28 (92,27 %), 29 (4,68 %) et 30 (2,07%).

Le silicium est cubique comme le diamant et le germanium et présente en outre une forme hexagonale rare et instable.

- La densité vaut $2,326 + 0,003$ à 0°C et 2,325 à 25°C.
- La dureté Mohr est égale à 7.
- La dureté brinell est évaluée à 240 kgf /mm².
- Il est non ductile, très cassant.
- Le module d'élasticité vaut 11495 kg /mm².
- Le module de torsion vaut 4050 kgf/mm².
- Le rayon atomique est égal à 1,172 Å.
- T_f dépend de l'état de pureté, en moyenne 1412 +2 C et $T_{eb} = 2477$ °C
- Le silicium est diamagnétique avec $X_s = -0,19 \times 10^{-6}$, peu sensible à l'effet de la température.
- Ces propriétés particulières lui sont conférées par les impuretés (donneur et accepteur). Les principaux donneurs sont l'antimoine et le phosphore qui transforme le cristal en silicium n, les récepteurs sont le bore, l'or, l'aluminium, le gallium qui

donnent le silicium P.

- Le constant diélectrique est voisin de 13.

II.3.4 Propriétés chimiques

Le silicium, à égale distance entre deux gaz rares, possède une électroaffinité peu marquée, on le classe parmi les éléments non métalliques. Presque toutes les combinaisons sont assurées par liaisons covalences, les réactions du silicium dépendent en outre de son état de division.

Amorphe, il réagit mieux que cristallisé, il brûle dans l'O₂ donnant la silice, quand il est cristallisé, il faut chauffer au moins à 850°C. La couche de silice empêche rapidement toute oxydation ultérieure. [42].

II.3.5 Fabrication des BUHP

La formulation des BHP est beaucoup plus complexe à mettre en évidence à cause du nombre de paramètres qui entre en jeu (ciment, sable, additions, adjuvants, eau, ajouts) et de leurs natures par rapport à la formulation d'un béton ordinaire. La plupart des formules de BFUHP sont conçues actuellement de manière expérimentale. La méthode de **Dreux-Gorisse** pour la formulation d'un béton ordinaire n'est en effet pas adaptée, car elle ne prend en compte ni les adjuvants, ni les additions. La formulation se fait donc sur la base de l'expérience acquise ces dernières années.

Contrairement à la formulation du béton ordinaire, pour la formulation du béton à haut performance nous n'avons pas suivi une formulation classique.

La mise au point de ces formules de BFUHP consiste à déterminer les quantités de chaque constituant de manière à répondre au cahier des charges de ces nouveaux bétons : [43].

Cette formulation est issue de la formulation adaptée par [33].

Pour aboutir à un béton a haute performance il faut satisfait ce qui suit :

- un rapport E/C très faible (< 0,2);
- une augmentation de la compacité par optimisation du squelette granulaire ;
- l'emploi de sable fin (0,063 mm < d_{max} < 2 mm) afin d'améliorer l'homogénéité;
- l'emploi d'ultra fine;
- l'emploi du sable broyé dans le cas d'un traitement thermique au-delà de 90°C ;
- un dosage en superplastifiant proche de son dosage à saturation;
- l'emploi de fibres métalliques pour augmenter la ductilité.

Tableau.II.6. Formulation des BFUHP [33]

BUFHP	
Constituants	Quantité
Ciment	691
Sable du dune	759
Fumée de silice	172
Sable broyé	276
Superplastifiant	37
Eau	200
Fibres métalliques	138
Masse volumique réelle (kg/m ³)	2399
E/C	0,27

Toutes les formulations des BFUHP étudiées ont été confectionnées [9] suivant le même mode opératoire, avec des moyens matériels identiques, et coulées dans différentes géométries de moules dans des conditions similaires.

II.3.6 Séquence de malaxage

Le béton est mélangé dans un malaxeur (FigureII.4) à mortier à axe vertical de 20 litres, pour l'homogénéisation des poudres et la fluidification du mélange.

La séquence de malaxage observée est la suivante :

- Introduction du ciment, de l'addition et des sables secs dans le malaxeur,
- Malaxage des poudres à sec durant 2,5 minutes à petite vitesse.
- Introduction de l'eau et de la moitié du superplastifiant et malaxage durant 6 minutes,
- Introduction de la seconde partie du superplastifiant, et malaxage jusqu'à fluidification (durée variable), à grande vitesse.
- Introduction éventuelle des fibres, et malaxage final de 1 minute à grande vitesse.

Cette séquence de malaxage est simple et permet une action efficace des adjuvants. L'introduction des superplastifiants en deux temps augmente leur efficacité et permet ainsi

Chapitre II Formulation et conception d'outil d'emboutissage

de réduire la quantité à utiliser pour une fluidité donnée. Le premier ajout d'eau et de superplastifiant permet de mouiller la surface des constituants secs. Cependant, lors du contact entre l'eau et les particules fines, une partie de l'eau et du superplastifiant est absorbée à la surface des grains, ce qui a pour effet de réduire considérablement l'efficacité du superplastifiant. Une fois la surface des particules fines mouillée, le deuxième ajout de superplastifiant est beaucoup plus efficace car son action n'est pas diminuée par l'absorption. On peut ainsi obtenir une meilleure fluidification.

Un changement dans la séquence de malaxage peut modifier grandement l'efficacité des superplastifiants. L'utilisation d'une séquence de malaxage différente peut donc conduire à des performances différentes. Cependant, la séquence de malaxage peut varier selon le rapport E/C, la quantité de ciment et d'ultrafines et l'efficacité du superplastifiant utilisé. Le Tableau II.7 donne les durées de malaxage permettant d'obtenir une fluidification suffisante des mélanges étudiés.

Tableau II.7. Temps de malaxage des BFUHP étudiés

Mélanges	BFUHP
Malaxage (en mn)	12



Figure II.4. Malaxeur 20 litres

II.4 Conception d'un outil d'emboutissage

II.4.1 Introduction

Nous avons vu dans le chapitre de la bibliographie que l'un des facteurs qui conditionne les performances des outils d'emboutissage en béton est l'état de la surface travaillante de l'outil. En effet, la présence de bulles d'air, d'aspérités ou une rugosité importante entraîne indéniablement une usure rapide, voire un arrachement de matière qui limite fortement la durée de vie de ces outils. Ce chapitre présente les dispositions prises afin d'obtenir des outils présentant un état de surface compatible avec les conditions d'emboutissage.

II.4.2 Etat de surface et leurs propriétés

Pour répondre à des exigences du procédé, il faut respecter des conditions liés au couple moule – béton à savoir :

- Empêcher toute adhérence entre le béton et le moule;
- Eviter les bulles d'air contre la surface du moule;
- Conduire à un état de surface lisse;
- Respecter les tolérances dimensionnelles des outils.

Pour éviter toute adhérence entre le moule et le béton il est indispensable d'appliquer un produit de décoffrage qui empêche toute réaction chimique entre moule et béton, malgré qu'on ne peut pas avoir une couche du produit fine et homogène sur toute la surface du moule surtout lorsqu'il s'agit des pièces de grandes dimensions.

Pour s'affranchir des difficultés liées au produit de décoffrage, nous nous sommes orientés vers des solutions ne nécessitant pas de produit de décoffrage, c'est-à-dire la surface du moule doit être très lisse.

Il est indispensable que la surface du moule ait une rugosité très faible. En effet, tous les défauts du moule tels que rayures, aspérités ou impuretés, en plus d'être moulés et retranscrits sur la pièce en béton, constituent autant de points d'ancrage potentiels des bulles d'air qu'il est indispensable d'éviter.

Les pièces à réaliser peuvent présenter des formes plus au moins complexes comportant des angles droits, ou des rainures et stries à angles obtus ou à faibles rayons de courbure, qui sont autant de zones préférentielles de stabilisation des bulles d'air. Par conséquent, il s'ensuit qu'il faut vibrer à la main le moule afin d'arriver à décoller d'éventuelles bulles d'air stabilisées dans ces zones.

II.4.3 Conception du moule

Différentes séries d'essais ont été réalisées portant sur l'influence de la nature du moule, moule en plastique, moule en matériau composite. De plus, des essais complémentaires ont permis de confirmer l'effet néfaste des produits de décoffrage courants sur les états de surface ainsi que le rôle important de la vibration. Pour cela, on a coulé plusieurs exemples.

En premier lieu, on a coulé notre béton sur des moules en plastique de forme moins complexes soigneusement nettoyé et sans élément de décoffrage (FigII.5)



(a)

(b)

Figure II.5 Moule en plastique (a), (b)

Les moules ont été vibrés pendant 30 secondes. Les éprouvettes ont été conservées dans le moule pendant 24 heures dans une salle à température ambiante.

Après décoffrage on a observé des pièces qui présentent un état de surface très lisses et brillantes, mais malheureusement avec un bullage de surface important. (FigII.6)



(a)

(b)

Figure II.6. Pièces en béton après démoulage (a) ,(b)

Chapitre II Formulation et conception d'outil d'emboutissage

Les surfaces extérieures des pièces en BUHP sont lisses et brillantes à cause de la présence d'une couche de fumée de silice.

Pour la réalisation des moules en matériaux composites, on a besoin du matériels et outillage suivants :

II.4.3.1 Matériel et outillages

- Outil en métal (Fig II.7);
- La cire de démoulage;
- Tissu de verre (mat de verre 300 g/m²) ;
- La Résine polyester;
- Le durcisseur P MEC;
- Enduit poudre plastique;
- Diluant pour le nettoyage des pinceaux;
- Des pinceaux;
- Des gants pour protéger les mains;
- Un ciseau pour découper le tissu de verre;
- Un masque de protection;



Figure II.7. Matériels

II.4.4 Mise en œuvre pour l'outil métallique

II.4.4.1 Conception du moule en matériau composite

Exemple I

On enduit l'outil en métal avec de la cire pour faciliter le démoulage, dans notre cas deux couches de cire fines sont suffisantes et sur les frontières, (Fig.II.7), on laisse sécher les couches de cire déposée pendant 30 mn.



Figure II.8. L'outil en métal

On prépare une solution composée de la résine et de l'enduit en poudre, qui remplace le gel-coat sachant que ce dernier coute très cher dans le marché par rapport à la solution. La solution est enduite sur l'outil à l'aide d'un pinceau en le recouvrant entièrement (Fig.II.8). Cette couche donne au moule un état de surface interne améliorée.



Figure II.9 Outil en métal recouvert avec la solution préparée

On découpe le mat de verre en morceau, il devra être légèrement plus grand que l'outil d'une façon à pouvoir lui recouvrir complètement (Fig.II.9), ensuite on prépare maintenant la résine polyester en lui ajoutant 2 à 3 % de durcisseur, la quantité préparée doit être suffisante pour recouvrir une couche et utilisée immédiatement. A l'aide d'un pinceau, on étale de la résine sur le moule. Ensuite on pose le mat de verre dessus (Fig II.9) et là on imbibe bien la résine en chassant l'air avec le pinceau et en appuyant bien dans les recoins. On recommence la même opération pour les autres couches, il est recommandé d'utiliser deux à trois couches.



Figure II.10. Outil en métal recouvert en mat de verre

On laisse le tout sécher correctement pendant 20 heures dans une salle à une température ambiante comme il est recommander, une fois le tout est complètement séché on passe à la phase de démoulage, on a observé un coulage entre le moule et l'outil en métal ce qui a influer sur l'état de surface interne du moule malgré l'utilisation de la cire de démoulage, Cela nous a ramené à faire des opérations de finition en utilisant du papier abrasif de différente dimension.(Fig.II.10) après des opérations de finition.



Figure II.11 Moule en matériau composite

On a coulé notre béton précédemment formulé dans le moule en composite soigneusement nettoyer, avec un démoulant, le moule est vibré manuellement pendant quelques minutes afin d'éliminer le maximum des bulles d'air. Après 24 heures dans une salle à température ambiante, les premières constatations que nous avons observées c'est la présence de bullage important au niveau de la surface extérieure ainsi que l'état de surface moins rigoureuse.



Figure II.12. L'outil en béton BUHP

Exemple II

On a fait un deuxième exemple (Fig.II.12.) en passant par les mêmes étapes que le premier exemple et après une opération de finition du moule en matériau composite (Fig II.13.) sauf qu'on a diminué le temps de durcissement de 24 heures à 16 heures dans les mêmes conditions, malgré tout ça nous avons eu des difficultés de démoulage et on a observé un bullage à la surface extérieure de l'outil en béton (FigII.14).



Figure II.13. Outil en métal



Figure II.14. Moule en matériau composite en deux parties



Figure II.15. Outil en béton après démoulage

II.4.4.2. Conception du moule en Silicone

Les résultats obtenues par l'utilisation des moules en plastique ou en matériau composite ne sont pas satisfaisantes pour remplir les conditions de réussite d'une opération de mise en forme, car cette dernière exige un état de surface parfaitement lisse de la partie travaillante de l'outil.

Chapitre II Formulation et conception d'outil d'emboutissage

Ce qui nous a poussé à la recherche d'une solution technologique qui peut remplacer les moule en matériau composite telle que la réalisation des moules en silicone à partir des pièces existantes.

On reprend le même outil de l'exemple I, en lui ajoutant sa matrice (FigII.15). Puis on a nettoyé la surface extérieure de l'outil (poinçon et matrice) soigneusement avec un liquide de nettoyage, sans l'utilisation d'un démoulant. Ensuite, on prépare la colle silicone commercialisée sous le nom TEKASIL 2K Z010, en lui ajoutant 7% du durcisseur (Fig.II.16).



Figure II.16. Poinçon et matrice en acier



Figure.II.17. La colle silicone

On enduit la surface extérieure des pièces avec de la colle silicone préparée précédemment en utilisant un pinceau pour recouvert toute la surface.

On laisse l'ensemble sécher correctement pendant 24 heures dans une salle à une température ambiante, puis en passe à la phase de démoulage où on n'a pas trouvés des

Chapitre II Formulation et conception d'outil d'emboutissage

difficultés, en plus on a constatés un état de surface interne du moule très lisse comme il est indiqué sur la Fig.II.18.



Figure II.18 Moule en silicone

On a coulé notre béton formulé précédemment dans le moule en silicone soigneusement nettoyer, sans démoulant, le moule est vibré manuellement pendant 45secondes afin d'éliminer le maximum des bulles d'air. Après 24 heures dans une salle à température ambiante, l'outil est démoulé sans aucune difficulté, les premiers constatations que nous avons observés c'est l'absence du bullage au niveau de la surface extérieure ainsi que l'état de surface rigoureuse. (FigII.19)



Figure II.19 Outil en béton BUHP



Figure II.20. Outil en béton assemblé

II.5 Conclusion

Les essais entamés dans cette partie montrent que les BUHP sont des matériaux faciles à mouler et bien adaptés à la préfabrication. On peut les utiliser pour produire des formes de complexité variée et obtenir une excellente reproduction des détails.

Ce sont des matériaux très résistants en compression, les BUHP permettraient de diminuer le poids des pièces habituellement fabriquées en acier et diminueraient les coûts liés à l'usinage des pièces métalliques. On est arrivé à concevoir et réaliser des moules de différents matériaux, le plus performant c'est la silicone où on a remarqué qu'il est très facile à démouler.

CHAPITRE III

Résultats et discussions

III.1 Introduction

Le comportement mécanique de ces bétons a été étudié en compression uni axiale, flexion 3 points et la traction simple sur des éprouvettes 40×40×160mm.

Trois échantillons sont testés par essai de flexion et mêmes échantillons par essai de compression sur une presse (compression, flexion) CONTROLS15/300kN, asservie en force. Les essais mécaniques pour les bétons non étuvés ont été faits à 28 jours après une cure à 20°C, tandis que pour les bétons étuvés, ils ont été effectués après la phase de refroidissement pendant 24 heures soit à l'échéance de 5 jours.

Nous avons vu précédemment que l'un des facteurs qui conditionne les performances des outils d'emboutissage en béton est l'état de la surface travaillante de l'outil. En effet, une rugosité importante entraîne indéniablement une usure rapide voire un arrachement de matière qui limite fortement la durée de vie de ces outils. Donc il faut prendre des dispositions qui répondent aux conditions d'emboutissage. Les performances des outils en béton ont été validées par des essais à caractère industriel. Les premiers essais sur une presse hydraulique de 400tonnes quasi industrielle au niveau d'une entreprise privée ont donné des résultats encourageants.

III.2 Essais mécaniques des outils

III.2.1 Résistance à la compression NF EN 12390-3 [48]

A l'aide d'une machine de flexion /compression 15/300 KN (Fig.III.1) on a fait des essais sur des éprouvettes de laboratoire 40x40x160 mm fibrés et non fibrés.

Ces éprouvettes ont subis un traitement thermique dans une étuve à 150°C pendant cinq jours dont les premiers résultats montrent que les performances de notre béton ont été améliorées.



Figure III.1.Machine de flexion /compression 15/300 KN



Figure III.2. Essai de compression

Les résultats des résistances à la compression sont présentés dans la figure III.3.

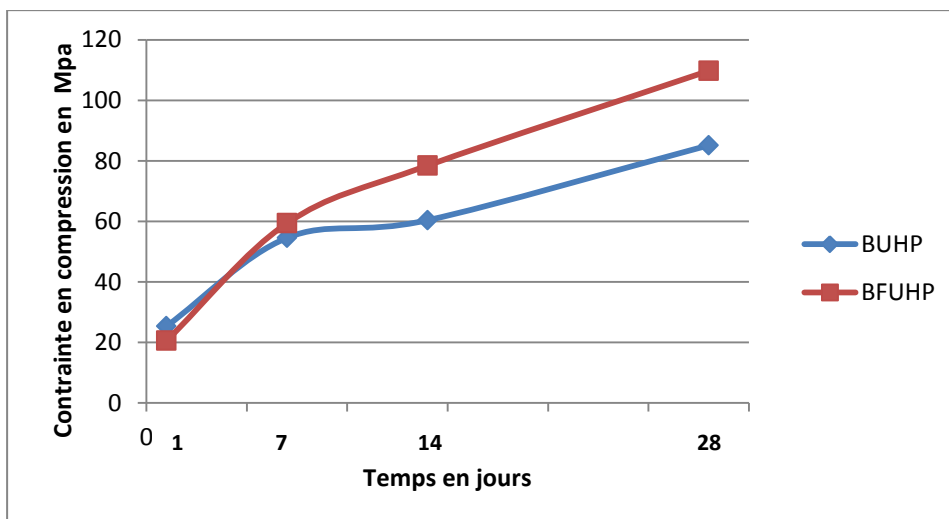


Figure III.3. Contrainte de Compression du BUHP et BFUHP en fonction du temps

III.2.2 Résistance à la flexion NF EN 12390-5

Les BUHP sans fibres ont un comportement linéaire élastique jusqu'à la rupture lorsqu'ils sont sollicités en flexion. La résistance maximale à la traction par flexion est de l'ordre de 15 à 20 MPa et la rupture est de type fragile. L'ajout de fibres métalliques ou non métalliques permet d'augmenter la résistance à la flexion tout en allongeant la partie linéaire élastique. Les fibres permettent aussi d'obtenir un comportement ductile

adoucissant ou durcissant. Les résistances maximales obtenues sur les BUHP fibrés sans pressage à nos jours sont de l'ordre de 60 MPa.

La résistance à la flexion des BFUHP est de l'ordre de 30 à 50MPa tandis que pour les BUHP est de l'ordre de 25MPa. [44].

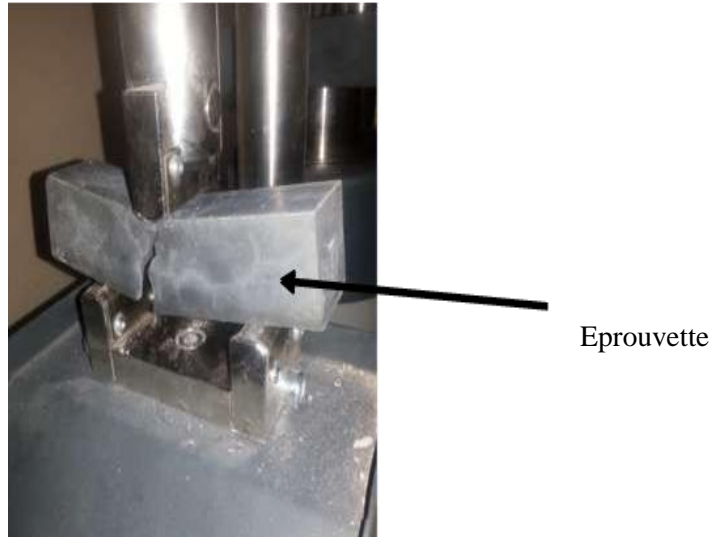


Figure III.4 Essai de flexion

Les résultats présentés sur la figure III.5 montrent que les résistances en flexion pour les bétons renfermant du sable de dune de différentes formules étudié des bétons non étuvés, des bétons étuvés à 150°C sont identiques à celles des bétons à ultra haute performance étudier et présentés par [45]. La figure Fig. III.5 présente une progression régulière des résistances de flexion des bétons fibrés selon les échéances (1, 7, 14 et 28 Jours). [33]

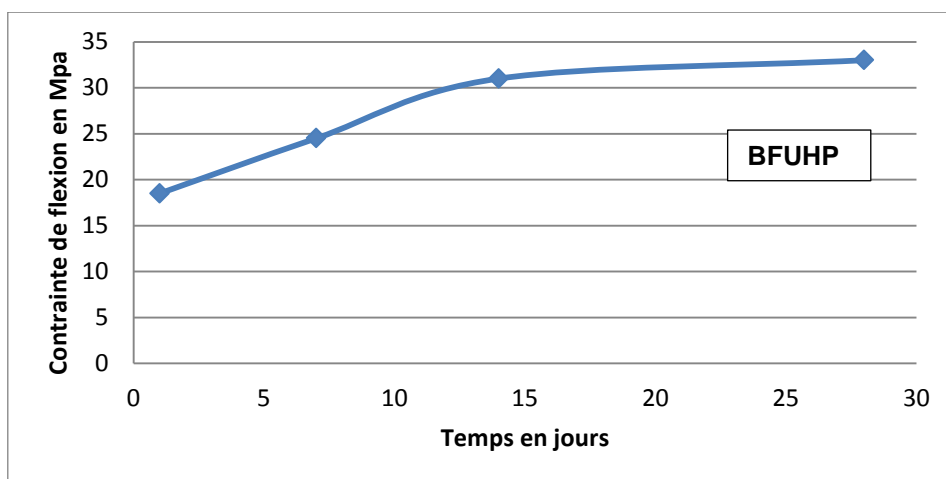


Figure III.5 Evolution de la contrainte de flexion en fonction du temps

L'ajout de fibres métalliques permet d'augmenter significativement la résistance à la flexion tout en allongeant la partie linéaire élastique. Les fibres permettent aussi d'obtenir un comportement ductile adoucissant ou durcissant. Les résistances mécaniques des bétons étudiés conservés à 20°C augmentent régulièrement jusqu'à 28 jours voir Fig. III.5. La résistance en flexion des éprouvettes traitées à 150°C atteint une valeur maximale aussitôt après le traitement thermique. La résistance en flexion mesurée à 28 jours pour une température de cure de 20°C est légèrement différente de la résistance obtenue avec le traitement thermique de 150°C. La réaction pouzzolanique qui est accélérée durant le traitement thermique à 150°C est responsable de l'augmentation des résistances de ce type de béton. Les critères d'homogénéité et de compacité qui recouvre la composition granulaire et le mode de fabrication, caractérisent la qualité des échantillons obtenus après prise.

III.2.3 Détermination du module d'élasticité longitudinal.

La détermination des caractéristiques mécaniques des éprouvettes en béton à savoir, le module d'élasticité longitudinal, retrait, perméabilité, absorption capillaire....., ont été présentés dans les travaux de Tafraoui [33].

Pour évaluer le module d'élasticité en compression dont les essais ont été conduits selon les recommandations CPC8 de la RILEM [46], applicables à tout type de bétons. Ces recommandations préconisent d'effectuer dix cycles de charge et décharge d'une amplitude égale à 1/3 de la charge de rupture et de déterminer le module à la fin de ces cycles FigIII.6. Dans ce cas le calcul du module a été évalué lors du cinquième cycle.

Les déformations ont été obtenues par l'intermédiaire de trois jauges extenso métriques, de base de mesure 60 mm, collées suivant une génératrice sur la surface latérale de l'éprouvette cylindrique et radialement espacée de 120°.

Le chargement mécanique à été effectué de manière continue avec une vitesse de 0,5 MPa/s. lors de la mise en charge (et lors de la décharge) des échantillons, les déformations instantanées mesurées par capteur LVDT permettent de donner directement une estimation du module élastique des matériaux chargés.

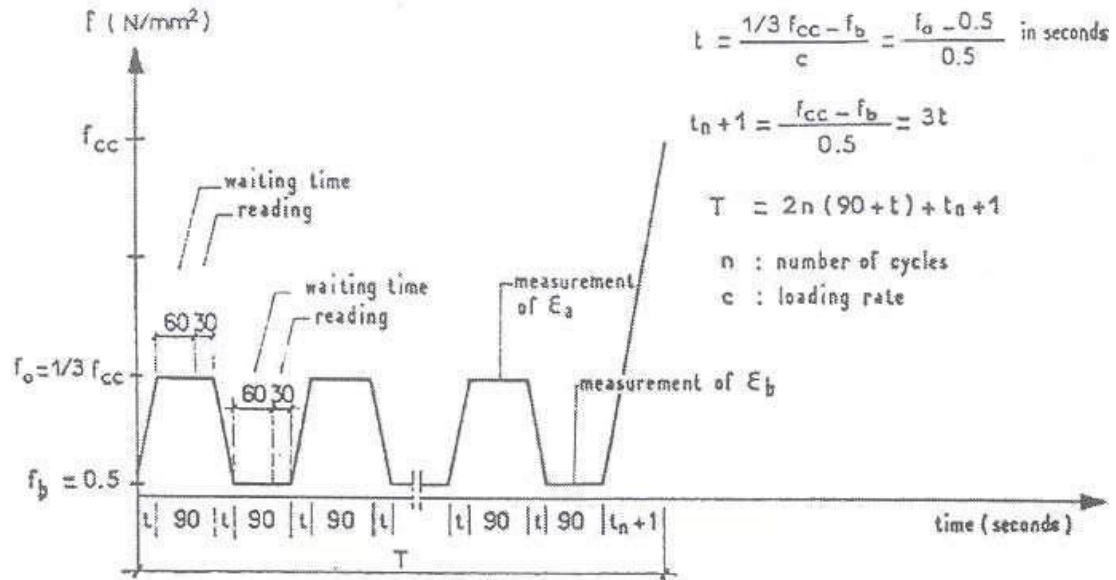


Fig. III-6. Paramètre de l'essai de détermination du module d'élasticité [46], [33]

Le module d'élasticité est calculé sur la dernière montée en charge à 1/3 de la charge de rupture suivant la formule suivante :

$$E = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon = (\sigma_a - \sigma_b) / (\varepsilon_{a,n} - \varepsilon_{b,n}) \quad [III.1]$$

Où

σ_a : 1/3 de la résistance moyenne (Mpa)

σ_b : contrainte de base=0,5 MPa,

$\varepsilon_{a,n}$: déformation mesurée pour la contrainte σ_a pour le cycle n ($n = 5$),

$\varepsilon_{b,n}$: déformation mesurée pour la contrainte σ_b pour cycle le n ($n = 5$).

Le module d'élasticité longitudinale du BUHP est égale après l'essai et calcule selon l'équation (III-1) à 50 000 MPa avec un coefficient de Poisson égale à 0,2.

III.2.4 Retrait du béton durci (au-delà de 24heures)

L'objectif de cet essai est de mesurer, en fonction du temps, la variation de longueur due aux effets de l'hydratation et de la dessiccation des matériaux cimentaires. Cet essai est réalisé sur matériau durci grâce à un réfractomètre permettant de mesurer les variations de

longueur d'échantillons placés dans une salle climatisée à $20 \pm 1^\circ\text{C}$ et à $50 \pm 5\%$ d'humidité relative, selon deux conditions:

- Avec échange hydrique du matériau avec l'ambiance : on obtient le retrait total,
- Sans échange hydrique avec l'ambiance en enveloppant les éprouvettes dans une (ou deux) feuille (s) de papier aluminium autocollant : on mesure le retrait endogène. Après démoulage à 24 heures, les mesures de retrait total sont effectuées à des échéances très courtes au début, la périodicité de mesure augmentant ensuite avec le temps. Les mesures sont faites dans l'axe des éprouvettes, entre deux plots métalliques noyés dans le béton au coulage. Moule des éprouvettes du retrait avec les plots.

L'étalonnage du rétractomètre est effectué à l'aide d'une tige étalon en Invar qui sert de référence de mesure. Les échantillons testés dans notre étude sont prismatiques de dimension $40 \times 40 \times 160\text{mm}$. Le dispositif de mesure (Rétractomètre) est présenté sur FigIII.7.

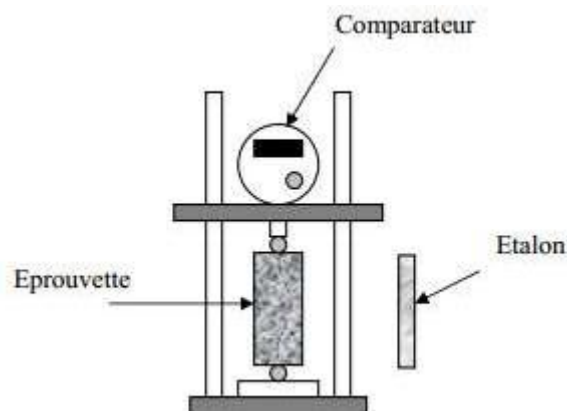


Figure III.7 Dispositif d'essai pour des éprouvettes $4 \times 4 \times 16$ [9]

La variation de longueur de l'éprouvette (ΔL) sur sa longueur de base (L). Malgré la diminution de longueur des éprouvettes, ce rapport est généralement exprimé positivement en $\mu\text{m}/\text{m}$ et est représenté en fonction du temps (Fig.III.8).

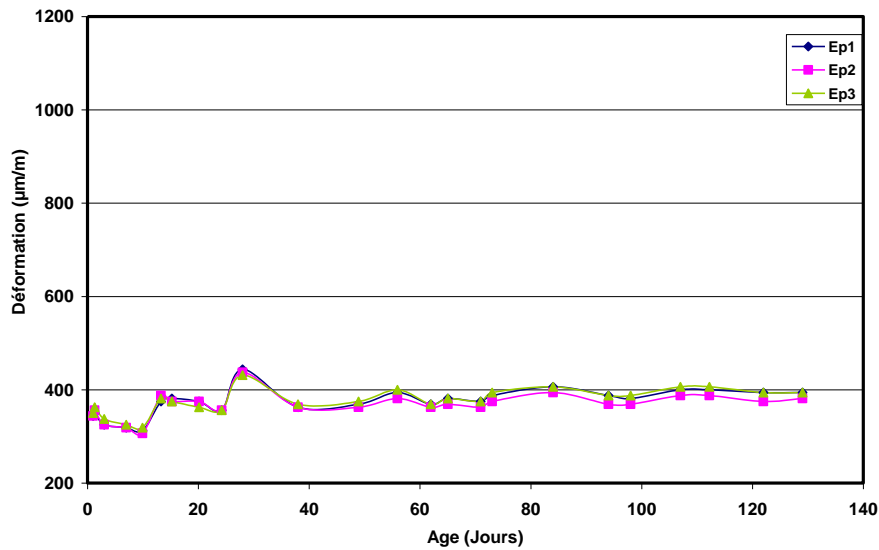


Figure III.8 Retrait total du BUHP [33]

Le retrait total du BUHP est nul après traitement thermique à 150°C.

III.2.5 Perméabilité

La perméabilité est liée aux connections du système de pores ainsi qu'à la composition chimique et minéralogique du matériau. La très faible porosité des BUHP ne permet pas de mesurer la perméabilité à l'eau. On doit alors effectuer des essais de perméabilité aux gaz. La surface travaillante de l'outil en béton doit présenter une faible perméabilité de manière à limiter la pénétration d'agents agressifs telles que les huiles de laminage présentes initialement sur les tôles. Les essais de perméabilité du béton BUHP durci selon la méthode CEMBUREAU [47] [45] présente une très faible valeur par rapport au béton ordinaire environ ($1,5 \times 10^{-20} \text{ m}^2$).

III.2.6 Absorption d'eau par capillarité

Le phénomène physique susceptible de faire pénétrer des substances agressives extérieures à l'intérieur du béton est l'absorption par capillarité. Le béton est en effet un matériau qui possède des pores capillaires dont la dimension varie suivant ses caractéristiques de composition (rapport E / L_{Equiv} , additions minérales, etc.). Lorsqu'un liquide se retrouve en contact avec ce type de pore, des tensions de surface font remonter ce liquide à l'intérieur du capillaire.

Le liquide monte d'autant plus haut que le diamètre du capillaire est petit. Les pores capillaires ouverts sur le milieu extérieur vont donc conduire, dans certaines conditions

(principalement d'humidité), à laisser s'infiltrer par succion des liquides pouvant contenir des espèces chimiques potentiellement préjudiciables au bon fonctionnement et à la durée de vie du matériau. L'essai consiste à mesurer la masse d'eau absorbée par une éprouvette de béton préalablement conditionnée par une étuve à 80°C (procédure AFREM [45]). Les échantillons testés sont de forme prismatique 4×4×5 cm (trois échantillons par composition). Le pré conditionnement des échantillons est le suivant :

- Après démoulage, les échantillons sont conservés à $20 \pm 2^\circ\text{C}$ dans une salle dont l'hygrométrie est supérieure ou égale à 95% (norme NF P 18-404) pendant 28 jours. A l'issue de la période de cure, les échantillons sont conservés dans une étuve ventilée à $80 \pm 2^\circ\text{C}$. Durant cette période, le suivi de la masse est réalisé à intervalle de temps régulier, jusqu'à ce que la variation de masse entre deux pesées espacées de 24 heures soit inférieure à 0,05%. Les éprouvettes sont alors placées dans des sacs étanches puis remises dans l'étuve ventilée à $80 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 10 jours, afin de favoriser l'équilibre hydrique dans l'échantillon. Le sac est ensuite extrait de l'étuve puis conservé 12 heures à une température de $20 \pm 2^\circ\text{C}$.
- A l'issue de ce retour en température, l'éprouvette est sortie du sac. Sa surface latérale est alors enduite de papier aluminium autocollant pour éviter l'évaporation latérale de l'eau absorbée durant l'essai. L'essai d'absorption capillaire est réalisé à la suite de ce pré-conditionnement. Il consiste à suivre l'évolution de masse des éprouvettes plongées de 3 mm dans de l'eau (Fig.III.9). Les échéances de mesure sont les suivantes : $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, 1, 2, 4, 8 et 24 heures.

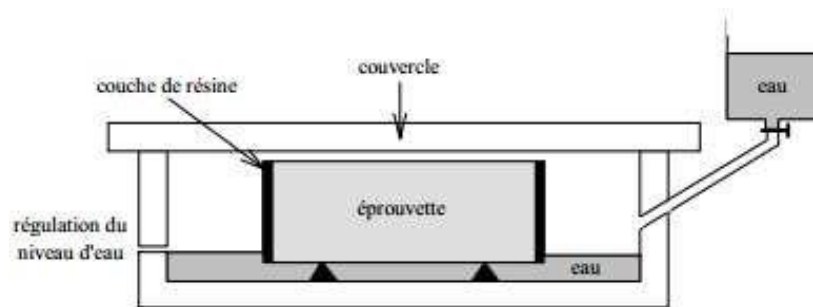


Figure III.9 Dispositif expérimental de mesure d'absorption d'eau par capillarité [9]

Le coefficient d'absorption capillaire est défini par l'équation suivante :

$$Ca = (M_x - M_o) / A \text{ en kg/m}^2 \quad [\text{III.2}]$$

Où

M_x : masse de l'éprouvette à une échéance donnée (kg),

M_o : masse initiale de l'éprouvette (kg),

A : section de l'éprouvette (m^2).

Les résultats d'absorption capillaire obtenus pour notre matériau sont représentés sur la figure (Fig. III.10).

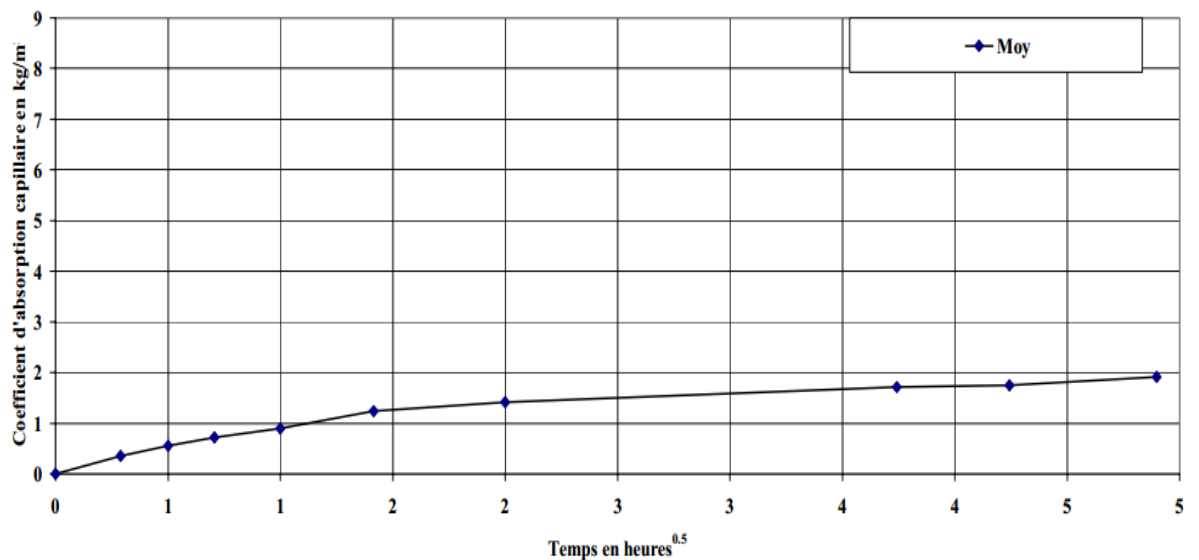


Figure III.10 Absorption d'eau par capillarité des BUHP [33]

Le coefficient d'absorption d'eau par capillarité qu' a été mesuré selon le mode opératoire recommandé [47], qui ne dépasse pas 2 kg/m^2 .

III.2.7 Etat de surface des outils en BUHP

III.2.7.1 Rugosité

A l'aide d'un Rugosimètre (FigIII.11.), qui est un appareil de contrôle de la rugosité et mesure de l'état de surface des pièces mécaniques.

Il est utilisable sur tout type de surfaces, qu'elles soient métalliques ou non. L'ordre de grandeur des défauts mesurés est le micromètre (μm).

Il possède une haute précision et un large champ d'application, une utilisation simple et une exécution stable.

Son fonctionnement est simple, lorsque le palpeur se déplace d'un mouvement linéaire uniforme le long de la surface à tester, il effectue des mouvements perpendiculaires, vers

le haut et vers le bas, tout en gardant un contact avec la surface de travail. Son mouvement est converti en signaux électriques qui sont amplifiés, filtrés et transformés en signaux digitaux par un convertisseur.

Les signaux sont ensuite traités par une unité centrale pour obtenir les valeurs

Ra et **Rz** qui s'afficheront alors sur l'écran,

Ra : rugosité moyenne d'une surface est la moyenne arithmétique de toutes les déviations de la surface testée sur l'ensemble de la longueur de base.

Rz: hauteur maximale des irrégularités entre la hauteur maximale des sommets et la profondeur maximale des creux de l'échantillon.

Avec cet appareil on a pu mesurer la surface des outils réalisés en béton et qui révèle un état de surface très lisse et très propre, avec une rugosité $Ra = 0,49\mu\text{m}$. La rugosité de l'outil en béton voir FigII.12. est comparée à celle de l'outil en acier Fig.II.8.

Donc on peut l'état de surface de notre outil rempli l'un des paramètres majeurs de la réussite d'une opération d'emboutissage.



Figure III.11 Rugosimètre

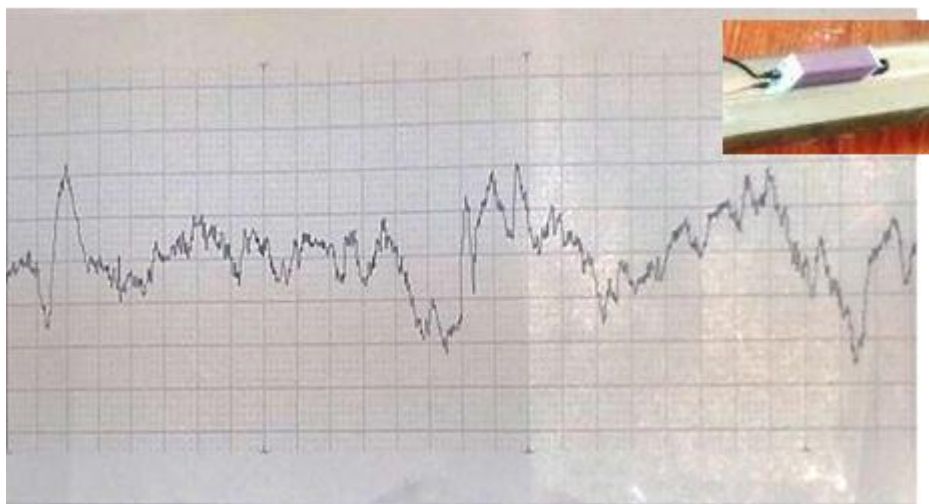


Figure III.12. Rugosité de l'outil en acier ($Ra = 0.16 \mu\text{m}$)

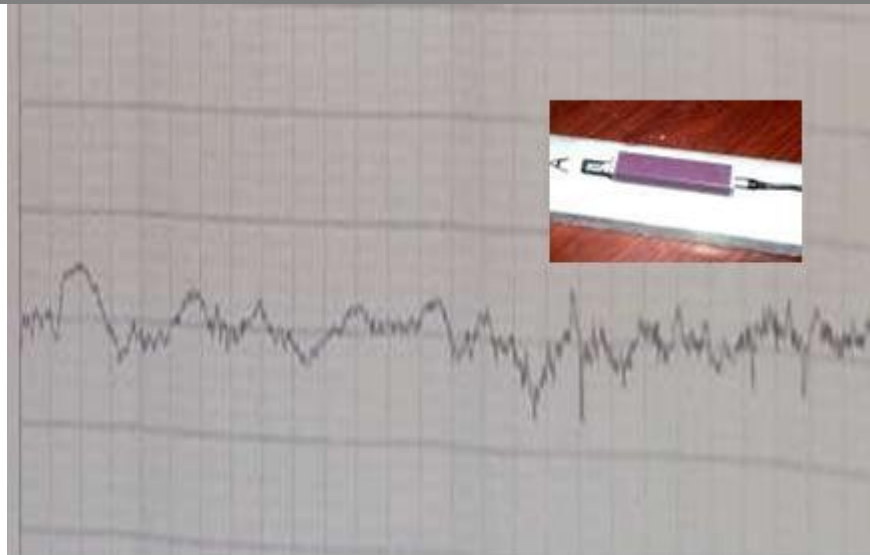


Figure III.13 Rugosité de la face travaillante de l'outil en béton ($R_a = 0.39 \mu\text{m}$)

III.2.7.2 Coefficient de frottement

L'acquisition en continue des forces dans le vérin horizontal (F_H) et dans le vérin (F_V) lors des cycles de frottement permet de déterminer l'évolution du coefficient de frottement μ en fonction du déplacement de la tôle. Selon [9].

$$\mu = \frac{-F_V}{2 * F_H} \quad (\text{III.3})$$

L'évolution du coefficient du frottement a toujours la même allure. Un exemple est présenté sur la figure (Fig. III.14), la même tôle a été réutilisée lors des cycles 701 à 725. Lors du premier cycle, le coefficient de frottement est relativement élevé. Puis, une patine se forme sur la tôle et l'huile recouvre les surfaces de contact des éprouvettes en béton, ce qui entraîne une diminution du coefficient de frottement. A la suite de cycle répétés, la tôle se raye et toute l'huile est consommée, le coefficient de frottement augmente à nouveau jusqu'à conduire au grippage. Ce dernier apparaît après 20 à 25 cycles. La valeur du coefficient de frottement dynamique a été obtenue en moyennant les mesures sur chaque portion de courbe présentant un palier horizontal

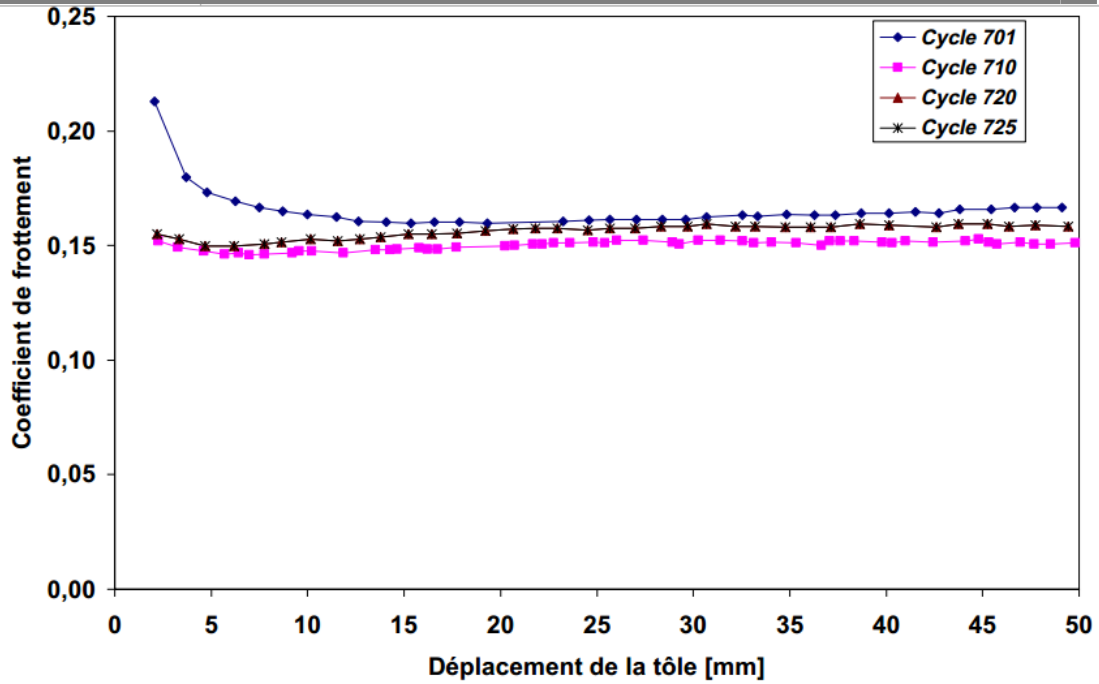


Figure.III.14. Evolution du coefficient de frottement en fonction du déplacement vertical de la tôle lors d'un usage de la même tôle (cycle 701 à 725) [33]

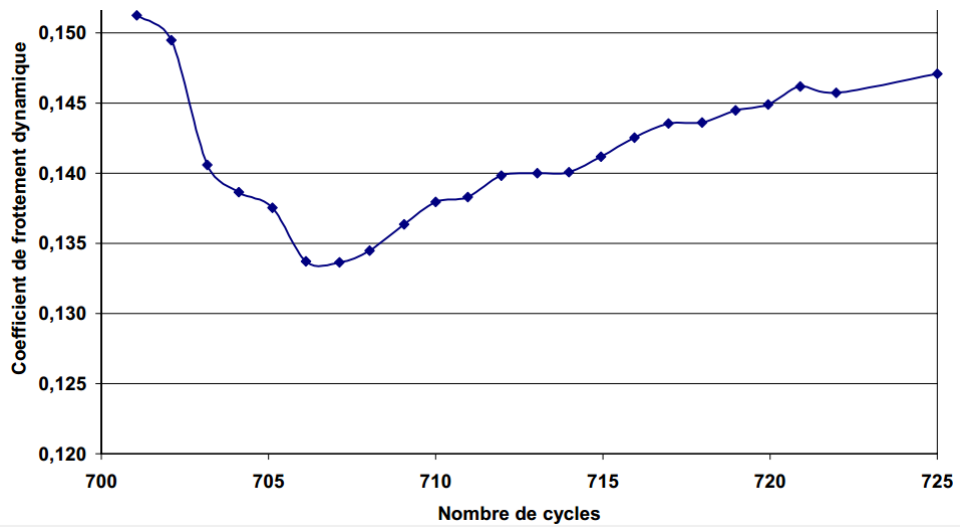


Figure.III.15. Evolution du coefficient de frottement dynamique en fonction du nombre de cycle lors d'un usage répété de la même tôle (cycle 701 à 725)[33]

La figure III.15, montre que la valeur du coefficient de frottement est relativement élevée. Ensuite une patine se forme sur la tôle entraînant une diminution de la valeur du coefficient de frottement. Toutefois, à la suite de cycles répétés la tôle s'abîme, le film d'huile disparaît et la valeur du coefficient de frottement augmente à nouveau.

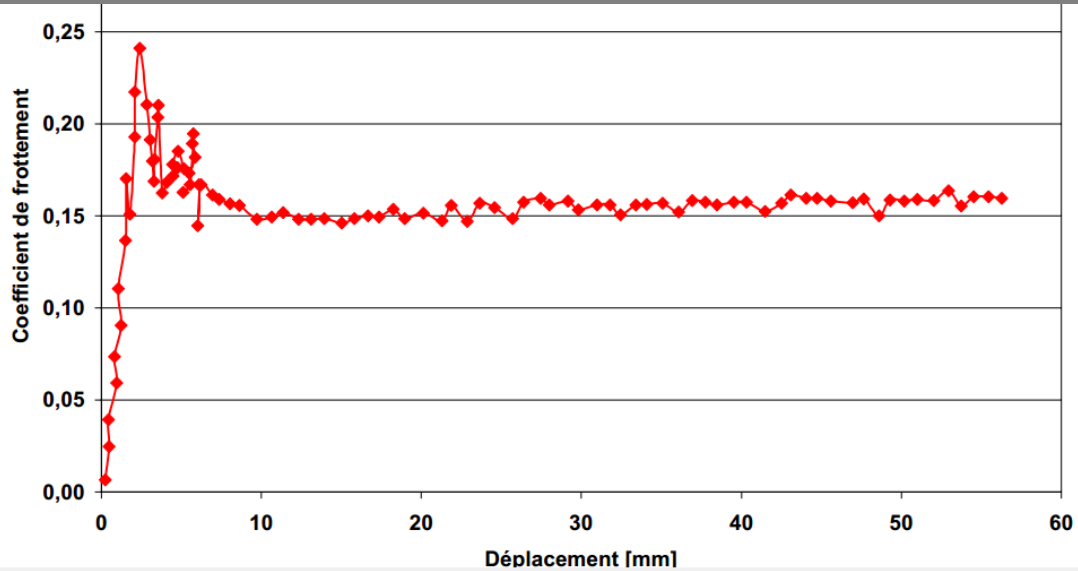


Figure. III.16. Evolution du coefficient de frottement en fonction du déplacement de la tôle. Contrainte 20 MPa et vitesse de défilement 10mm/s [33]

Toutes les courbes décrivant l'évolution du coefficient de frottement en fonction du déplacement de la tôle ont la même allure (Fig. III.16). Lors de la première phase qui consiste à tirer très lentement sur la tôle, il y a dans un premier temps adhérence parfaite entre la tôle et l'éprouvette, le comportement est élastique et la courbe est linéaire. Ensuite, dès que le coefficient atteint le coefficient de frottement statique, il y a glissement de la tôle et chute du coefficient de frottement. On observe à la fin de cette première phase de fortes fluctuations sur la valeur du coefficient de frottement. En effet, la vitesse de défilement appliquée est maintenue à 1,6 mm/s sur les 5 premiers millimètres et, après le premier glissement, des cycles intermittents d'adhérence et de glissement se produisent. La durée et l'amplitude de ces cycles sont fonction de plusieurs paramètres tels que la vitesse initiale, l'état de la tôle, la contrainte de serrage. Par contre, lors de la deuxième phase, la vitesse de défilement étant beaucoup plus élevée, ce phénomène transitoire disparaît. Le coefficient de frottement dynamique ne varie quasiment pas.

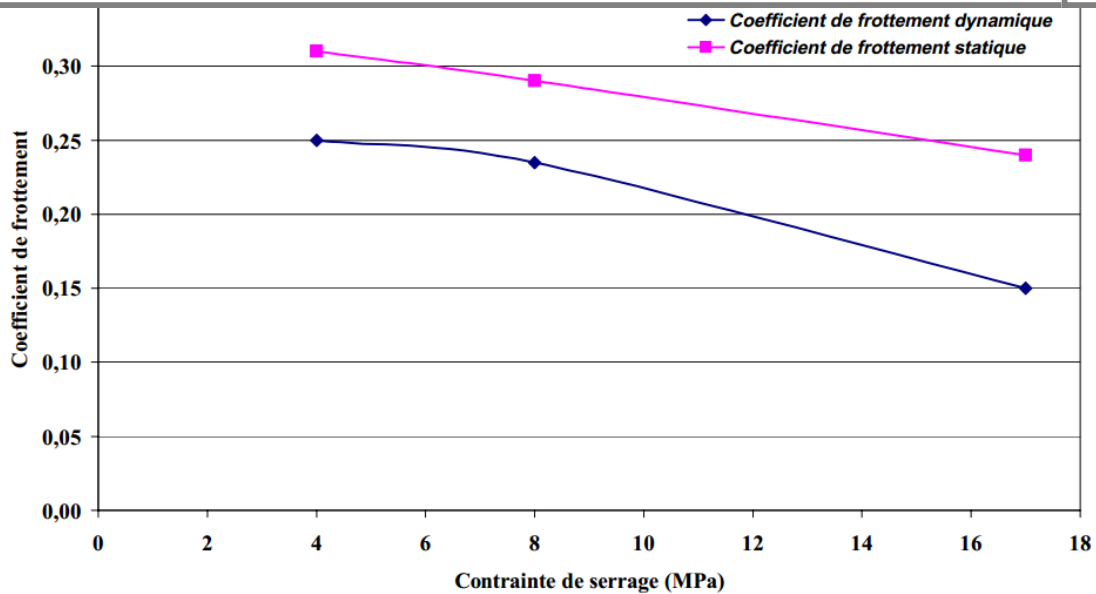


Figure. III.17. Evolution du coefficient de frottement statique et dynamique en fonction de la contrainte de serrage, vitesse de défilement 1 cm/s[33]

Les mesures montrent que les coefficients de frottement statique et dynamique diminuent lorsque la contrainte de serrage augmente.

III.2.7.2 Observations au microscope électronique à balayage (MEB)

Les observations au microscope électronique à balayage (MEB) ont été effectuées sur les échantillons après sciage et polissage afin de mettre en évidence les différentes phases minéralogiques. Ainsi, les observations ont été faites en mode « électrons rétrodiffusés » pour mieux mettre en évidence les différences de composition chimique.

Les Figures III.18 et III.19 présentent une vue globale de la microstructure des différents BUHP étudiés. Elles mettent en évidence les phases granulaires, en gris sombre, les phases anhydres du clinker, en gris très clair, et les phases hydratées, en gris moyen.

On constate que le nombre de grains de ciment anhydres est encore très important, que l'observation soit faite après 28 jours sans traitement thermique, ou après le traitement thermique. En l'absence de traitement des images, il n'est cependant pas possible de conclure sur le degré d'hydratation des différents BUHP.

Du point de vue de la pâte, elle apparaît bien compacte, sans nuances de gris pouvant être associés à des différences d'hydrates.

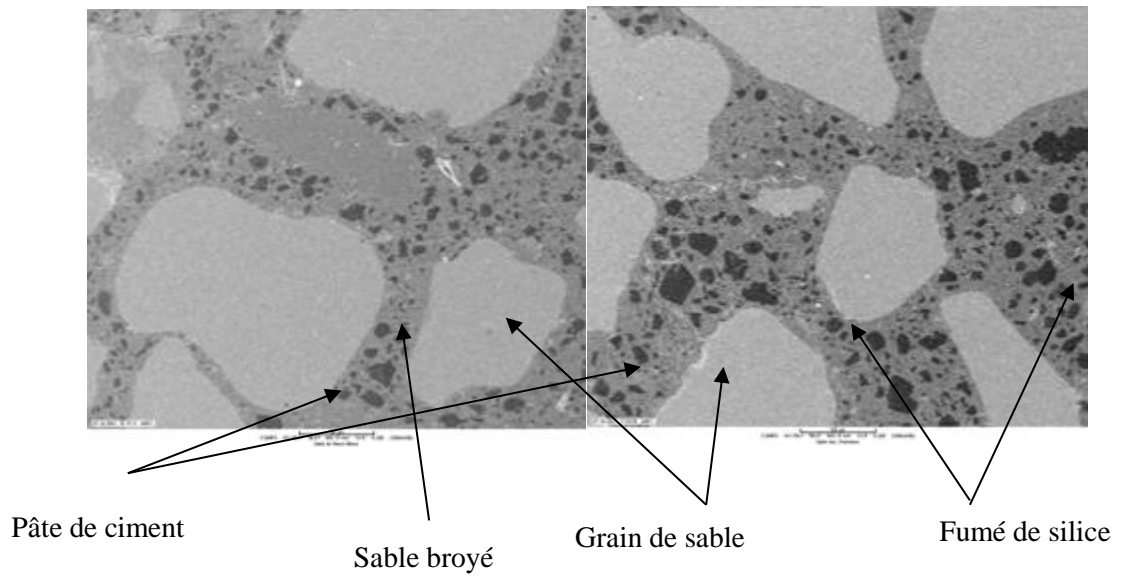


Figure III.18 Image MEB (x250) du BUHP à 28 jours [33],[9]

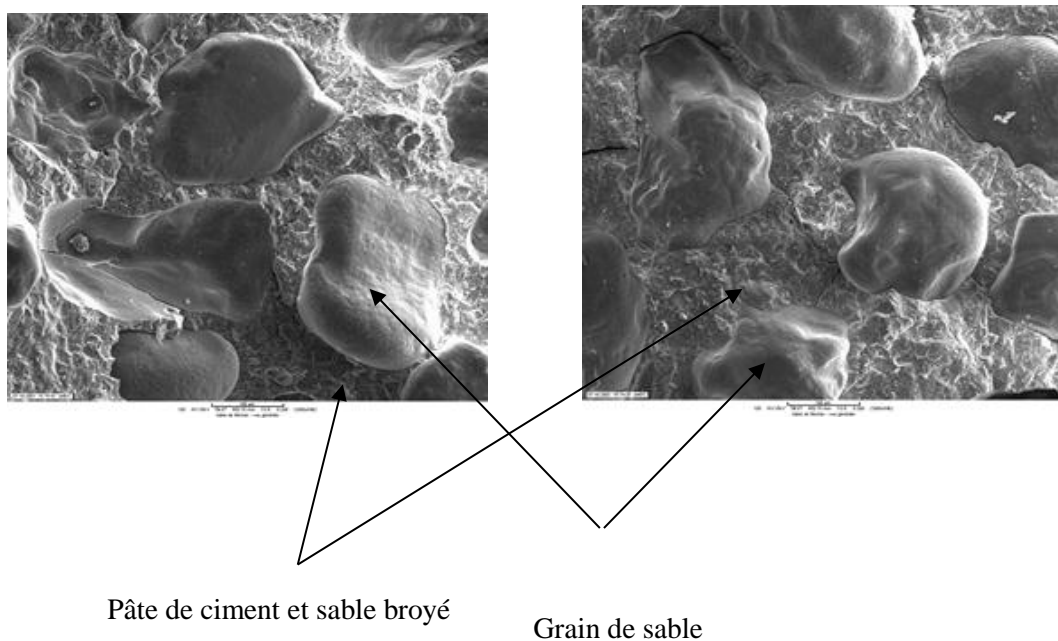


Figure III.19. Image MEB (x250) du BUHP sans polissage à 28 jours [33], [9]

III.3 Essai d'emboutissage

III.3.1 Description du modèle

On a proposé de réaliser un montant d'une carrosserie d'un humidificateur Fig.III.14, et voir le résultat obtenu, pour qu'on puisse la comparée à celle obtenu par un outil en acier

sur la presse d'emboutissage 400 tonnes de la société. Fig.III.21.



Figure III.20. Montant d'une carrosserie d'un humidificateur (Pièce à réaliser)



Figure III.21. Presse hydraulique 400 tonnes

- Les données mécaniques :

Le matériau de la tôle est un acier doux dont le module de Young $E = 200000 \text{ MPa}$ et le coefficient de poisson $\nu = 0,3$

- Les données géométriques:

Le flan est une tôle mince rectangulaire de longueur $L = 68,4 \text{ mm}$, de largeur $l = 14,6 \text{ mm}$ et d'épaisseur $e = 1 \text{ mm}$.

Profondeur de l'emboutissage $\text{Prof} = 14,6 \text{ mm}$ (Fig. III.20)



Figure III.22. Tôle en acier prédécoupé

III.3.2 Tests expérimentaux

Une série de tests expérimentaux (montant d'une carrosserie d'un humidificateur) Fig. III.18 ont été réalisées sur une presse d'emboutissage hydraulique 400 tonnes de la société privée SAFIR SAOURA voir Annexe A. En faisant varier quelques paramètres du précédé.

En premier lieu nous avons monté notre outil en béton BUHP fabriqué précédemment sur la presse en utilisant les mêmes moyens de fixation qu'un outil en acier c.-à-d. le système vis et écrou puisque on a noyés des écrous métalliques dans le béton frais pendant la fabrication de notre outil en béton, et après réglage de la machine, on prépare les tôles prédécoupées d'épaisseur 1 mm Fig. III.22. Puis nous faisons notre série de test en faisant varier quelques paramètres à savoir la force de serrage, la géométrie de l'outil, le lubrifiant, la vitesse d'emboutissage....



Figure III.23. Outil en béton monté sur presse

Après contrôle et analyse des résultats on a aboutis aux remarques suivantes :

- L'effort de serrage
L'augmentation de l'effort de serrage rend le glissement de la tôle entre le serre-flan et la

matrice difficile, ce qui entraîne une expansion uni axiale importante dans le mur de la pièce et une expansion bi axiale au niveau de l'arrondi du poinçon où il y a risque de rupture.

Par contre la diminution de l'effort de serrage donne une certaine liberté à la tôle pour bouger en formant des plis.

- La géométrie de l'outil

Un grand arrondi sur la matrice facilite bien avalement de la tôle par la matrice et évite le grand amincissement d'épaisseur dans les paroi de l'embouti.

Un faible rayon de congé de la matrice engendre un amincissement de la paroi, ce qui conduit à un découpage de la tôle.

- Profondeur de l'emboutissage

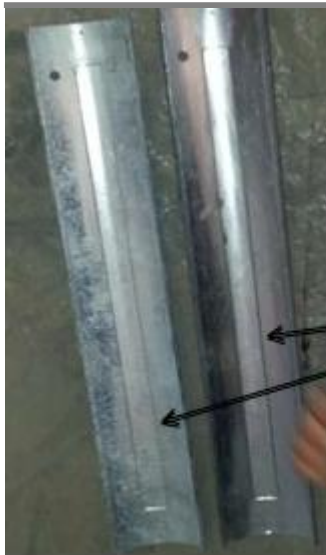
Nous avons choisi une profondeur d'emboutissage de telle sorte que la tôle ne se lâche pas du serre-flan.

Les résultats obtenus sont données par la figure III.24. Les premières constatations qu'on a est le risque de formation des plis issue de la variation de la force de serrage du serre-flan sur la tôle ou bien ils résultent du changement de vitesse d'emboutissage.



Figure III.24. Défauts rencontrés de la pièce.

Après réglage et adaptation des différents paramètres du procédé, les résultats obtenus en utilisant l'outil en béton BFUHP sont encourageants et montrent que ces outils donnent les mêmes empreintes que les outils en acier ou en fonte. Fig.III.25. Mais leur conception et leur réalisation sont moins coûteuses que celles fabriquées en fonte puisqu'on élimine toute la phase d'usinage ce qui influe d'une manière directe sur le prix des pièces réalisées et donne un gain en temps et en argent important.



Après l'essai avec un outil en béton, on a obtenu une pièce identique à celle obtenue par un outil en acier soit en qualité ou en dimension

La même empreinte

Figure III.25. Pièce obtenue

III.4 Commentaire

Les résultats obtenus après une série d'essai sur presse hydraulique, en utilisant un outil en béton réalisé avec des matériaux disponible localement et qui peuvent être utilisé après quelque jour de son fabrication, sont comparables à celle obtenus par un outil en acier, dont son usinage demande des machines de finition très spécialisé avec un gout élevé.

Après plusieurs essais avec notre outil en béton, on remarque l'apparitions des premiers fissures au niveau du poinçon, qui peuvent être justifiés soit par la capacité de la presse 400 tonnes (effort d'emboutissage élevé), ou bien manque de renforcement de l'outil en béton par d'autres type de fibres qui sert à améliorer sa ductilité.

III.5 Conclusion

Cette partie a montré que la conception d'outils d'emboutissage en béton BUHP est fortement conditionnée par leurs propriétés de surface. L'amélioration de ces propriétés nécessite de développer un processus de fabrication conduisant à des outils présentant un état de surface parfait, aucune bulle d'air présente sur la surface travaillée. Le coefficient de frottement entre la surface de l'outil en béton et la tôle doit être similaire à celui entre les outils en fonte et la tôle. Les essais effectués sur une ligne quasi- industrielle sont abouti à des résultats comparables à celle obtenu par des outils en acier.

***CONCLUSION
ET
PERSPECTIVES***

CONCLUSION GENERALE

Ce travail a été élaboré au sein de Laboratoire de Fiabilité de Génie Mécanique (LFGM) de l'université de Tahri Mohamed Bechar.

La conception d'outils d'emboutissage en béton BUHP est fortement conditionnée par leurs propriétés de surface et leurs propriétés mécaniques. L'amélioration de ces propriétés nécessite de développer un processus de fabrication conduisant à des outils présentant un état de surface parfait, aucune bulle d'air présente sur la surface travaillante. La surface de l'outil en béton doit présenter une dureté et une tenue à l'usure élevée. Afin d'avoir un état de surface lisse et brillant, sans aucune bulle d'air. On a procédé à une série d'essai de coulage dans des moules en plastiques, et en matériaux composites sans produit de démoulage, on déduit que le coulage dans un moule propre sans produit de démoulage avec vibrations permet le décollement et l'évacuation des bulles d'air de la paroi mène à un état de surface lisse et parfait.

La soumission du matériau à un traitement thermique dans une étuve augmente et améliore fortement les propriétés mécaniques du matériau. Le retrait total est quasiment nul. Cet avantage est particulièrement intéressant lors de la conception d'outils prototypes.

Cette étude a prouvé que la conception et la réalisation des outils d'emboutissage en béton BUHP ont des propriétés mécaniques assez encourageantes et qui présente une qualité extérieure parfaite, aucune bulle d'air, après traitement thermique les outils en béton ont une dureté et un comportement à l'usure élevé. Cette étude a montré que ces outils en béton ont simplifiés le processus, diminués les délais de fabrication car ces solutions passent par l'élimination de l'usinage des matériaux métalliques [7] et par conséquent un gain économique très important. Ce travail a été validé par les travaux de Taфраoui [9] et Schwartzentruber. [6].

A titre d'exemple un outil en acier qui pèse 26734 g le même outil en béton pèse g environ 36 % de la masse.

PERSPECTIVES

Nous proposons comme perspective future de poursuivre les travaux entamés afin de

- Trouver des surfaces parfaites des moules.
- Améliorer le comportement mécanique des nouveaux bétons.
- Réaliser des châssis des outils d'emboutissage en béton.

La substitution des métaux par du béton reste toujours lié aux formulations et performances du béton et de son utilisation dans différents domaines soit mécanique ou génie civil.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] ROSATO. D.R, Blow molding hand book hander publishers, 1990.
- [2] NUMIFORM 86, The 2nd International Conference on Numerical methods in Industrial Forming processes, Gothenburg, Suede, Belem, 1986.
- [3] NUMIFORM 89 The 5 International Conference on Numerical methods in Industrial Forming processes Colorado, USA, Belem, 1989
- [4] NUMIFORM 92 The 8 International Conference on Numerical methods in Industrial Forming processes Nice, France, Belem, 1992.
- [5] RACHIK. M, ROELANDT J.M, Modélisation d'emboutis axisymétriques en déformations planes à l'aide d'une méthode explicite, Rapport de fin d'étude U.T.C, 1992.
- [6] SCHWARTZENTRUBER. A, Conception d'outils d'emboutissage en béton pour la mise en forme de tôles minces, Thèse de doctorat, février, 2000
- [7] BURLAT.M, Analyse mécanique et tribologique de l'emboutissage application aux outils fabriqués par combinaison des différents matériaux, 1998.
- [8] OUDJENE. M, Modélisation et optimisation du comportement mécanique des outils d'emboutissage stratifiés précontrainte par vissage, 2005.
- [9] TAFRAOUI. A, LABAILI. S, Conception des outils d'emboutissage des tôles minces en béton de poudre réactive, Journal of Engineering and Applied Sciences, ISSN:1816-949X, 2006.
- [10] MALIER.Y, Les bétons à hautes performances, Presses de l'école nationale des Ponts et chaussées, 1992.
- [11] RICHARD. P, CHEYREZY. M, Les bétons de poudre réactive, Annales de l'institut technique du bâtiment et des travaux publics, No. 532, mars-avril, 1995, p. 85-102
- [12] FELER. E, Procédés de mise en forme : Introduction, technique de l'ingénieur, M3000,M2000.
- [13] Rapport d'emboutissage Forme des pièces embouties, 2012.
- [14] SEDRAT. T, Etude et conception d'un procédé d'emboutissage Thèse de

Magistère, 2007.

- [15] CASTELL. A, DUPONT.A, Technologie professionnelle générale des forges paris, 1980.
- [16] ALTAN. T, LILLY. B, YEN. Y.C, Manufacturing of dies and molds. CIRP Annals –Manufacturing Technology, 2001, vol. 50/2, p.404-422.
- [17] RIVETTE. M, Méthodologie d'obtention d'outillage rapide par l'assemblage de composants élémentaires hybrides, Thèse de doctorat, 2007, 246p.
- [18] KERBRAT. O, Méthodologie de conception d'outillages modulaires hybrides basée sur l'évaluation quantitative de la complexité de fabrication Thèse de doctorat, ENS Cachan, 2009.
- [19] ABERLENC. F, BABEAU J.L, Octal et Animale, logiciels industriels de modélisation d'emboutissage, Strucome, 1990.
- [20] POMEY. G, Essais d'emboutissage. Saint Germain en laye,1976.
- [21] POMEY. G, Recherche des critères d'emboutissage. Saint Germain en laye, 1976.
- [22] BATHE. K.J, MIJALOVICH. S, Finite element of frictional contact problems, Journal of theoretical and applied mechanics, special issue, supplement N° 1 to vol 7, 1988.
- [23] CHAMEKH .A, Optimisation des procédés de mise en forme parles réseaux de neurones artificiels, Thèse doctorat, 2007.
- [24] CHAVAILLON J, Étude stratigraphique des formations quaternaires du Sahara Nord Occidental, Edition du CNRS, 1964.
- [25] TTIJOHN F. J, Sand and sand stone, Springer-Verlag New York, INC, Paper back , June, 1987.
- [26] FOLK R. L, WARD W. C, A study of significant of grain size parameters, J. Sediment. Brazos River bar, Petrol. 27, p. 3-26, 1957.
- [27] WEYDERT P, Étude sédimentologies d'une coupe de la partie médiane du grand récif de Tuléar (SW Madagascar), Téthys 1, p. 237-280, 1971.
- [28] WENTWORK. C.K, A scale of grade and class terms for classic sediments. J.Géol. 30, 1922, p. 377-392.

- [29] RUMBEIN W.C, Application of logarithmic moments to size frequency distribution of sediments, *J. Sedum.*, petrol.6, p. 35-47, 1936.
- [30] NTES.A, ARNAUDIN. H, Caractérisation des sédiments : critères dimensionnels et indices, 1987.
- [31] EBERHAT.J.P, *Analyse Structurale et Chimique des Matériaux*. Dunod, Paris, 1989, p. 614.
- [32] RIVIERE. A, Expression analytique générale de la granulométrie des sédiments meubles. *Bull. Soc. Géol. France* 2(13), 1952, p. 155-167.
- [33] TAFRAOUI .A, Contribution à la valorisation de sable de dune de l'erg occidental Algérie. LMDC INSA Toulouse, 2009.
- [34] DE LARRARD.F, Ultra-fine particles for the making of very high strength concretes, *Cement and concrete research*, 1989, p. 161-172.
- [35] TAFRAOUI.A, LEBAILL.S, SLIMANI. A, Study physico-Chemical Of The sand of the Western erg of the area of Saoura (western South ALGERIA). *Journal of Engineering and Applied Sciences*, ISSN: 1816 -949X. 2006.
- [36] ABDUL RAZAK. H, WONG. H.S, Strength estimation model for high-strength concrete incorporation metakaolin and silica fume, *Cement and Concrete Research*35, 2005.p:688-695.
- [37] GAUTELLA. S, BOUZIDI. M, Influence de l'addition du sable de dune en poudre au ciment sur les propriétés des bétons. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, Taylor &Francis vol. 15(10), 2011. p. 1483- 1507.
- [38] GAUTELLA. S, Contribution à l'étude de l'influence de l'ajout du sable de dune finement broyé au ciment, sur les performances physico-mécaniques la déformabilité et la durabilité du béton, Thèse doctorat,.2012.
- [39] ZAOIAI. S, Amélioration des caractéristiques mécaniques des bétons auto-plaçant à base des granulats Caoutchouc par l'ajout des fines siliceuses, Thèse doctorat LMD, 2016, UTMB.
- [40] BENMARIOL. F, Emploi du sable de l'erg occidental dans la formulation des Bétons Auto-Plaçant, 2017, UTMB.
- [41] DERRUAU. M, Les formes du relief terrestre (Notions de géomorphologie).

Editions MASSON, 1986.

- [42] ASCAL. P, Nouveau traité de chimie minéral. Tome 8F2, revue de Métallurgie, CNRS, Novembre, 1994.
- [43] BERLET.O, Contribution à l'optimisation de formes des pièces embouties pour l'industrie de l'automobile, Thèse de doctorat, UTC France, 1998.
- [44] RICHARD.P, CHEYREZY.MH, Composition of reactive Powder concretes. Cement and concrete research, vol.25, N°7, 1995.,p:1501-1511.
- [45] JIANXIN. M, SCHNEIDER. H, Properties of Ultra-High- Performance Concrete. LACER N° 7, 2002.
- [46] RECOMMENDATIONS RILEM CPC8, Modulus of elasticity of concrete in compression. Materials and Structures, Vol. 6, n°30, pp. 404-406, 1972.
- [47] AFPC-AFREM, Durabilité des bétons, Méthodes recommandées pour la mesure des grandeurs associées à la durabilité, 1997.
- [48] Norme NF EN 12390-3 Essais pour béton durci - Partie 3 : résistance à la compression des éprouvettes, Avril, 2012.

ANNEXES

ANNEXE A

Présentation de la société

La société SAFIR SAOURA (Technique et application du froid) BECHAR, fait partie des entreprises de la wilaya qui s'intéressent aux travaux de la tôlerie, cette dernière a été créée en 2014.

La société occupe une superficie de production environ 3500 m², un espace pour bureau et magasin de 800 m², avec une surface supplémentaire de stock d'environ 1200 m².

Donc en tout une superficie de 6500 m².

L'effectif actuel est de 25 personnes.

L'assistance technique est assurée uniquement par des algériens, la société a des bonnes relations avec autres entreprises nationales et internationales.

Les techniques employées pour la fabrication des humidificateurs 1/4 se résument à :

- Le découpage
- Le pliage
- L'emboutissage
- Le soudage par points
- Moulage

La société peut fournir plusieurs produits au marché local et national tels que les humidificateurs, les étagères métalliques, les treillis à souder, les rideaux des portails et d'autres.

ANNEXE B



متين Matine

ALGÉRIE



La Solution pour vos grands projets !

CPJ - CEM II/B 42.5 N

Matine Ciment gris pour bétons de haute-performance
Destiné à la construction des Ouvrages d'Art (ponts viaducs, tunnels...)

Matine
CPJ - CEM II/B 42.5 N.

Matine est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA 442) et Européenne (EN CE 197-1)

AVANTAGES PRODUIT



- Une résistance initiale élevée pour réaliser des préfabriques lourdes (poutres, voutes, ...)
- Favorise la maniabilité du béton et le maintien de sa rhéologie
- Une Classe Vraie qui offre une haute performance au béton.
- Meilleure durabilité du béton.

APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Construction d'ouvrage d'art (ponts, viaducs tunnels...)
- Préfabrication lourdes
- Béton à haute performance
- Applications techniques



FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment  50kg	Sable (sec) 	Gravillons (sec) 	Eau (litres) 
Dosage pour béton	+ X 1 	+  X7	+  X5 +  X4	+ 25 L

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

• Analyses chimiques

	Norme
Perte au feu (%) (NA5042)	10.0±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7±0.5
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0.02-0.05

• Temps de prise à 20° (NA 230)

	Norme
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±50

• Composition minéralogique du Clinker (Bogue)

	Norme
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7.5±1

• Résistance à la compression

	Norme
2 jours (MPa)	≥ 10.0
28 jours (MPa)	≥ 42.5

• Propriétés physiques

	Norme
Consistance Normale (%)	26.5±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm ² /g) (NA231)	3 700 - 5 200
Retrait à 28 days (µm/m)	< 1 000
Expansion (mm)	≤ 3.0

CONSIGNES DE SÉCURITÉ

1- **PROTÉGEZ VOTRE PEAU** : Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.

2- **MANUTENTION** : levez le sac en pliant les genoux et en gardant le dos droit.



LAFARGE ALGÉRIE

Centre commercial Bab Ezzouar, Tour n°02,
Etages 05 & 06, Bab Ezzouar Alger, Algérie
Tél: + 213 (0) 21 98 54 54
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94
www.lafargealgerie.com

LAFARGE
لافارج

ANNEXE C

Construction

Notice technique
Edition août 2010
Numéro 1.04
Version n°164.2009
SIKAPLAST 5045

SIKAPLAST 5045

Superplastifiant/Haut Réducteur d'Eau/Retardateur de prise pour bétons prêts à l'emploi et bétons autoplaçants

Conforme à la norme NF EN 934-2 Tab. 1, 11.1 et 11.2

Présentation SIKAPLAST 5045 est un copolymère acrylique vinylique de synthèse se présentant sous la forme d'un liquide de couleur brun-vert.

Domaines d'application

- SIKAPLAST 5045 permet la fabrication de bétons fluides et autoplaçants transportés sur de longues distances et pompés.
- Dans les bétons autoplaçants SIKAPLAST 5045 améliore la stabilité, limite la ségrégation du béton et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants.

Caractères généraux SIKAPLAST 5045 est un superplastifiant haut réducteur d'eau qui confère aux bétons les propriétés suivantes :

- haute rhéologie,
- robustesse à la ségrégation,
- qualité de parement.

CLASSIFICATION 3R :



Caractéristiques

Aspect Liquide de couleur brun-vert

Conditionnement

- Fûts : 220 kg.
- Cubi de 1100 kg :
- Vrac.

Stockage Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °C. Le produit peut geler, mais, une fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine. En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé.

Conservation 1 an dans son emballage d'origine intact

Données techniques

densité 1,07 ± 0,01

pH 4,5 ± 1



Teneur en Na₂O Eq.	■ 2,3 %
Extrait sec	30 ± 1,5 %
Teneur en ions Cl⁻	■ 0,1 %
Conditions d'application	
Dosage	Plage d'utilisation recommandée : 0,4 à 2,5 % du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées. Plage d'utilisation usuelle : 0,4 à 1,5 % du poids du ciment ou du liant.
Mise en œuvre	SIKAPLAST 5045 est ajouté, soit en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.
Précautions d'emploi	En cas de contact avec la peau, laver abondamment à l'eau. Consulter la fiche de données de sécurité.
Mentions légales	Produit réservé à un usage strictement professionnel. Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile. «Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»



Sika El Djazair
08 route de l'Arbaa, 16111 Eucalyptus
Alger/ ALGERIE
Web : dza.sika.com

Tel.: 213 (0) 21 50 21 84
213 (0) 21 50 16 92 à 95
Fax: 213 (0) 21 50 22 08



Fiche technique du produit
Edition 23.06.2006
Version no 1
Sika® ViscoCrete®-20 HE



Sika® ViscoCrete®-20 HE

Adjuvant pour béton (FM-HBE)

Construction

Description du produit

Sika® ViscoCrete®-20 HE est un superplastifiant/haut réducteur d'eau de la dernière génération, avec effet accélérateur de durcissement, pour béton et mortier. Sika® ViscoCrete®-20 HE favorise le développement de la résistance à court terme du béton sans influence négative sur la résistance finale. Le produit satisfait aux exigences d'un adjuvant du béton du type FM-HBE selon la norme EN 934-2.

Emploi

Sika® ViscoCrete®-20 HE convient pour la confection de béton en préfabrication. Le béton préfabriqué avec Sika® ViscoCrete®-20 HE se distingue par la teneur en eau extrêmement réduite, sa fluidité très prononcée tout en présentant une cohésion optimale. Les caractéristiques spécifiques d'un béton à dosage en liant et granulats défini sont fonction de la teneur en eau du béton frais et de la dose de Sika® ViscoCrete®-20 HE.

Sika® ViscoCrete®-20 HE s'utilise pour les sortes de béton suivantes:

- Béton à hautes performances en préfabrication
- Béton avec réduction maximale d'eau
- Béton auto-compactant (SCC) en préfabrication

L'importante réduction d'eau, la fluidité très élevée, le temps de prise réduit ainsi que les résistances à court terme élevées sont très bénéfiques dans les domaines d'application mentionnés.

Avantages

Sika® ViscoCrete®-20 HE combine différents mécanismes d'action. L'adsorption à la surface et le cloisonnement des fines pendant le processus d'hydratation produisent les résultats suivants:

- Réduction d'eau très importante (donc étanchéité et résistances élevées)
- Fluidité élevée (donc nettement moins de travail pour la mise en oeuvre et le compactage)
- Evolution rapide des résistances à court terme
- Le temps d'ouvrabilité est réglé à 20 - 40 minutes et dépend du concept du béton (conditions de température, type de ciment, etc.)
- Imperméabilité à l'eau fortement améliorée
- Meilleures caractéristiques de fluage et de retrait

Sika® ViscoCrete®-20 HE ne contient ni chlorures, ni autres substances susceptibles de provoquer ou de favoriser la corrosion de l'acier et peut de ce fait être utilisé sans restrictions pour la construction d'ouvrages en béton armé et précontraint.



Caractéristiques du produit

Genre

Couleurs Brunâtre

Conditionnement Emballages perdus (fûts) de 230 kg
Conteneur plastique échangeable de 1100 kg (propriété de Sika Schweiz AG)

Stockage

Conditions de stockage / conservation En emballage d'origine non entamé, stocké à des températures entre +10 °C et +20 °C: 12 mois à partir de la date de production.
Protéger de l'influence directe des rayons du soleil et du gel.

Si le produit Sika® ViscoCrete®-20 HE est gelé, celui-ci peut être réutilisé après avoir été lentement dégelé à température ambiante et après un malaxage intensif.

Caractéristiques techniques

Base chimique Polycarboxylate modifié

Uniformité Homogène

Densité 1.09 ± 0.03 kg/l

Valeur pH 4.5 ± 1.0

Teneur en alcalis < 2.0 M-% (équivalent Na₂O)

Teneur usuelle en corps solides 40 ± 2.0 M-%

Viscosité 120 - 180 mPa s à +20 °C

Teneur en chlorure soluble dans l'eau < 0.1 M-%

Remarques pour la mise en oeuvre

Dosage 0.4 - 1.4 %
Les dosages se rapportent au poids du ciment

Instructions pour la mise en oeuvre

Malaxage des produits Sika® ViscoCrete®-20 HE est ajouté dans l'eau de gâchage ou dosé dans le malaxeur en même temps que l'eau. Pour profiter de façon optimale de la forte capacité de réduction d'eau, nous recommandons un malaxage mouillé soigneux pendant 60 secondes au minimum. Pour éviter un excès d'eau dans le béton, il faut veiller en plus à ne pas procéder au dosage fin de l'eau avant les 2/3 du temps de malaxage mouillé.

Renseignements importants Sika® ViscoCrete®-20 HE se combine de façon utile avec les produits Sika suivants:

- SikaPump®
- Sika® Ferrogard®-901
- SikaFume®-HR /-TU
- SikaRapid®
- Sika® Stabilizer®-229
- Fro-V
- SikaAer®-50 SCC
- Sika® Control®-40
- Sika® Lightcrete®-02

Des essais préliminaires avec ces produits sont indispensables. Notre service d'assistance technique est à votre disposition pour tout conseil relatif à un objet.

Prescriptions de sécurité

Renseignements importants de sécurité Pour plus de détails, veuillez consulter la fiche de sécurité actuelle sous www.sika.ch

Renseignements juridiques

Les informations contenues dans la présente notice, et en particulier les recommandations concernant les modalités d'application et d'utilisation finale des produits Sika, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que Sika a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales, conformément aux recommandations de Sika. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou recommandations écrites, ou autre conseil donné, n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés, ni aucune garantie de conformité à un usage particulier. L'utilisateur du produit doit vérifier par un essai sur site l'adaptation du produit à l'application et à l'objectif envisagés. Sika se réserve le droit de changer les propriétés de ses produits. Nos agences sont à votre disposition pour toute précision complémentaire. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont soumises à nos Conditions générales de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.



Sika Schweiz AG
Case postale
Tüffenwies 16
CH-8048 Zurich

Téléphone 044 436 40 40
Fax 044 436 46 55
www.sika.ch
bauchemie@sika.ch



FA043123

ISSN 0335-3931

norme européenne

norme française

NF EN 12390-3

Février 2003

Indice de classement : P 18-455

ICS : 91.100.30

Essai pour béton durci

Partie 3 : Résistance à la compression des éprouvettes

E : Testing hardened concrete — Part 3: Compressive strength of test specimens
D : Prüfung von Festbeton — Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern

Norme française homologuée

par décision du Directeur Général d'AFNOR le 5 janvier 2003 pour prendre effet le 5 février 2003.

Remplace la norme homologuée NF P 18-406, de décembre 1981.

Correspondance

La Norme européenne EN 12390-3:2001 a le statut d'une norme française.

Analyse

Le présent document spécifie une méthode de détermination de la résistance en compression d'éprouvette de béton durci.

Descripteurs

Thésaurus International Technique : béton, essai, essai de compression, résistance à la compression, éprouvette d'essai, conditions d'essai, appareillage, mode opératoire, résultats d'essai.

Modifications

Par rapport au document remplacé, adoption de la norme européenne.

Corrections

Édité et diffusé par l'Association Française de Normalisation (AFNOR) — 11, avenue Francis de Pressensé — 93571 Saint-Denis La Plaine Cedex
Tél : + 33 (0)1 41 62 80 00 — Fax : + 33 (0)1 49 17 90 00 — www.afnor.fr

© AFNOR 2003

AFNOR 2003

1^{er} tirage 2003-02-F



norme européenne

norme française

NF EN 12390-5
Octobre 2001

Indice de classement : **P 18-433**

ICS : 91.100.30

Essai pour béton durci

Partie 5 : Résistance à la flexion sur éprouvettes

E : Testing hardened concrete — Part 5: Flexural strength of test specimens
D : Prüfung von Festbeton — Teil 5: Biegezugfestigkeit von Probekörpern

Norme française homologuée

par décision du Directeur Général d'AFNOR le 20 septembre 2001 pour prendre effet le 20 octobre 2001.

Correspondance

La Norme européenne EN 12390-5:2000 a le statut d'une norme française.

Analyse

Le présent document décrit une méthode de détermination de la résistance à la flexion d'éprouvettes. Il spécifie l'application d'un moment constant dans la zone centrale (charge en deux points). Il constitue la méthode de référence.



Descripteurs

Thésaurus International Technique : béton, essai, essai de flexion, détermination, résistance à la flexion, mode opératoire.

Modifications