

Variabilités des performances de bétons de chanvre en fonction des caractéristiques de la chènevotte utilisée

NIYIGENA César¹

¹ Université Clermont Auvergne, Institut Pascal, Polytech' Clermont-Ferrand – 63174 Aubière Cédex, France

cesar.niyigena@uca.fr

Prix Jeunes Chercheurs « René Houpert »

RÉSUMÉ. Le Béton de Chanvre (BC) est considéré comme un éco-matériau en raison de ses atouts environnementaux. Il est composé essentiellement de la chènevotte, du liant et de l'eau. La qualité de la chènevotte est sensible au terrain de production et au parcours de transformation, d'où sa variabilité pouvant freiner le développement du BC. Notre étude vise à évaluer scientifiquement, l'impact de cette variabilité sur les performances du BC. Elle passe par deux étapes principales : (1) la prédiction de l'impact de la chènevotte sur le BC, (2) caractérisation du BC. L'analyse multicritères (granulométrie, etc.) met en évidence la variabilité importante des chènevottes et permet de les classer en trois groupes. Les essais réalisés sur le BC permettent d'obtenir les performances mécaniques faibles, moyennes et élevés comme prédit. Un facteur d'environ 10 a été obtenu entre le minimum et le maximum observés pour la contrainte de compression. Cependant, la masse volumique et la conductivité thermique sont de faible variabilité. D'après les analyses réalisées, il existe vraisemblablement les interactions chimiques liant-chènevotte qui affectent les performances mécaniques. Ainsi, une étude approfondie sur la composition chimique de la chènevotte et de son interaction avec liant peut permettre de mieux comprendre la réponse mécanique du BC.

ABSTRACT. The hemp concrete (HC) is considered as an eco-material due to its environmental assets. Its constituents are mainly the hemp particles, binder and water to which admixtures are added eventually. The quality of hemp particles is very sensitive to the nature of soil where it is produced and also to its transformation process, which results in properties variability of hemp particles. And this may be a barrier to development of HC industry. The herein study aims to evaluate scientifically the impact of this variability on HC performances. This study is carried out through two main steps : (1) predicting the impact of hemp particles on the HC, (2) HC characterization. The multicriteria analysis (particle size distributions, etc.) highlights the significant variability of the hemp particles and allowed to classify them into three groups. The tests carried out on HC resulted in low, medium and high mechanical performances as predicted. A factor close to 10 is observed between the minimum and maximum compressive strengths. However, the density and the thermal conductivity are of low variability. The performed analysis show that the interaction between the hemp particles and the binder is likely to contribute to the mechanical response. Hence, further investigations considering their chemical composition may allow to better understand this interaction impact.

MOTS-CLÉS : variabilité, chanvre, chènevotte, béton de chanvre, propriétés mécaniques, conductivité thermique

KEY WORDS: variability, hemp, hemp-shiv, hemp concrete, mechanical properties, thermal conductivity

1. Introduction

Le problème d'impact de la chènevotte sur les propriétés du BC a fait l'objet de quelques études dans la littérature [ARN 12, NGU 10, NIY 16, STE 13]. Cependant, l'analyse des éléments de la bibliographie met en lumière l'intérêt et la nécessité d'une étude approfondie sur ce sujet. En effet, les études réalisées précédemment n'ont pas envisagé une large variabilité des chènevottes. De plus, dans la démarche de sélection de la chènevotte à utiliser, seules la taille de particules [ARN 12] et leur origine [STE 13] ont été prises en compte pour différencier les chènevottes. La première étape vers une étude approfondie consiste à la mise en place d'une démarche de classification et de sélection des chènevottes en considérant plusieurs critères. Cela a fait l'objet de la première partie de notre étude [NIY 15]. On s'est intéressé à une étude de caractérisation et de comparaison sélective des différents types de chènevotte, les caractéristiques prises en compte sont principalement la masse volumique en vrac ; la capacité d'absorption d'eau et la granulométrie.

Il a été démontré à travers les analyses faites sur les résultats de cette étude que les caractéristiques présentent de variabilité importante. Pour mieux appréhender cette forte variabilité, une étude comparative de ces caractéristiques a été conduite. Elle est basée sur l'analyse multicritère et a permis de classer les chènevottes en trois groupes. Le groupe 1 ; 2 et 3 qui donneraient les bétons de chanvres de bonnes, moyennes et faibles qualités, respectivement.

En conclusion de cette partie, il est proposé une prochaine étape qui consiste à fabriquer les éprouvettes de BC et à conduire les tests expérimentaux dans le but de valider les résultats de caractérisations des chènevottes. Cela fait l'objet de la suite de l'étude et nous détaillons en particulier les résultats de cette partie.

Une analyse multicritère sur les résultats du BC permet également de les classer en trois groupes qui correspondent plus ou moins à ceux obtenus lors de la classification multicritère sur les chènevottes. Ces résultats permettent d'aboutir à une conclusion que les hypothèses retenues lors de la prédiction de l'effet de la chènevotte sur les BC sont vérifiées en partie. D'après ces résultats, les chènevottes avec de faibles tailles des particules et de fortes capacités d'absorption d'eau ne donnent pas forcément les meilleures performances. D'après cette étude, il est clair que seule la taille (longueur, largeur, etc.) de la chènevotte ne suffit pas pour prédire les performances du BC à la sortie. Il faut prendre en compte d'autres caractéristiques (teneur en eau, etc.), ainsi le type de chanvre qui optimise ces caractéristiques donne un BC de bonnes performances.

2. Matériels et méthodes

Dans cette étude, on distingue d'une part les chènevottes et d'autre part les BC. Les matériels et méthodes relatifs à la caractérisation de la chènevotte sont détaillés dans l'étude précédente [NIY 15]. Parmi les chènevottes caractérisées, neuf ont été sélectionnées pour la confection des éprouvettes de BC. Elles ont été fabriquées dans les mêmes conditions (formulation, séchage, etc.).

2.1 Paramètres de confection des éprouvettes

Nous avons utilisé la formulation de type mur avec 250kg/m^3 , c-à-d. que pour une gâchée de 100 litres il faut 25kg de liant, 12kg de chènevottes et 30kg d'eau. Les éprouvettes utilisées sont les 11x22cm. Pour limiter le nombre des éprouvettes, nous avons distingué les essais principaux et les essais secondaires. Dans le premier cas, les éprouvettes sont fabriquées en nombre élevé de façon à avoir neuf éprouvettes par échéance (au total 4 échéances à 30, 60, 90 et 180 jours), et dans le 2^{ème} cas, il s'agit des essais témoins où trois éprouvettes sont testées à 30 et à 180 jours. Dans la mesure où 196 éprouvettes ont été fabriquées dans le cadre de cette étude, un codage a été proposé pour leur numérotation.

Tableau 1 : synthèse des codes pour la numérotation des éprouvettes

Type d'essai	Type de chanvre	Type d'éprouvette	Numéro de l'éprouvette
P : Principal	C1 à C13	11 : Cylindrique (11x22cm)	de 1 à n dans chaque cas.
S : Secondaire			

2.2 Confection et test des éprouvettes de béton de chanvre

Lors de la confection des éprouvettes, pour un type de chènevotte donnée, le remplissage de moule s'est fait librement à la main à raison de quatre couches environ. D'une couche à l'autre, on effectue un grattage de la face supérieure pour assurer un bon accrochage. Dans ces conditions, un moule modèle est rempli puis pesé, ainsi les autres éprouvettes sont fabriquées en respectant la même masse. Cette astuce permet de contrôler indirectement l'énergie de compactage au sein d'un même type de chènevotte. Une seule personne remplit les moules modèles, afin de faciliter le contrôle de l'énergie de compactage entre les différents types de chènevotte.

A l'issue de la fabrication, les éprouvettes sont laissées dans leurs moules durant 72 heures, car la prise du BC se fait lentement. Après démoulage, on distingue deux types de séchages à savoir : le séchage à l'air libre (21°C et 48% HR en moyenne) et le séchage à l'étuve (à 60°C pendant 48 heures). Ce dernier est réalisé avant les essais de: masse volumique, conductivité thermique et compression.

La méthode utilisée pour les essais thermique est la méthode du « fil chaud » permettant de déterminer la conductivité thermique. Par ailleurs, le protocole utilisé pour faire les essais de compression ainsi que la méthode

Les résultats obtenus (masses volumiques, contraintes de compression, module, etc.) ont été exploités et analysés en utilisant une démarche de l'analyse multicritère. Il s'agit de la même démarche que celle qui a été utilisée pour la classification et la sélection des chènevottes [NIY 15]. A l'issue trois groupes différents de BC sont identifiés presque conformément à la prédiction comme nous allons les voir dans la suite.

3. Résultats et analyses

3.1 Caractérisation de la chènevotte

Les résultats du Tableau 2 révèlent de fortes variabilités pour chacune des caractéristiques. On observe une masse volumique en vrac de l'ordre de 70,8kg/m³ à 158,9kg/m³. Par ailleurs, on a une teneur en eau de 112,2% à 242,6% et de 293,0% à 432,5%, initiale et finale respectivement. Pour l'analyse granulométrique, on observe également une variabilité ; par exemple la longueur de la particule varie de 0,64mm à 5,88mm. A ce stade de l'étude, ces variabilités observées sur les résultats ne permettent pas de prédire leurs impacts sur les BC. Par conséquent, une étude comparative multicritère prenant en compte toutes les caractéristiques à la fois s'avère nécessaire. Elle a été conduite et a abouti à une classification des chènevottes en trois groupes qui donneraient de faible, moyenne et forte performance mécanique [NIY 15].

Tableau 2: synthèse des résultats de caractérisations des chènevottes [NIY 15].

Nomenclature	MV : Masse volumique en vrac [kg/m ³]	TEI : Teneur en eau initiale ¹ [%]	TEF : Teneur en eau finale ² [%]	SMP : Surface moyenne d'une particule ³ [mm ²]	MP : Masse d'une particule [mg]	Lo : Longueur [mm]	La : Largeur [mm]	EI : Elongation	DF : Diamètre de Férret [mm]
C1	70,8	159,8	293,1	0,91	0,18	0,64	0,19	2,62	0,32
C2	89,7	194,2	379,2	4,89	0,84	3,40	1,04	3,47	1,79
C3	118,0	242,6	432,5	1,57	0,28	1,11	0,32	2,63	0,58
C4	118,3	233,8	358,3	1,94	0,35	1,45	0,44	2,60	0,76
C5	125,7	154,0	351,3	8,10	1,77	5,88	1,40	4,97	2,78
C6	128,2	181,4	358,5	5,31	1,14	4,20	1,27	3,95	2,23
C7	129,9	163,6	321,9	3,25	0,79	1,93	0,42	3,19	0,84
C8	143,6	152,7	328,0	6,96	1,51	5,59	1,23	5,52	2,53
C9	147,5	211,8	381,5	6,95	1,50	5,11	1,38	4,47	2,58
C10	130,7	112,2	307,3	0,82	0,15	0,77	0,25	2,28	0,41
C11	95,4	165,9	344,6	1,72	0,23	1,46	0,34	3,32	0,66
C12	103,9	162,9	338,7	1,18	0,18	1,02	0,28	2,77	0,50
C13	158,9	226,2	375,1	1,36	0,22	1,11	0,52	2,27	0,80
Minimum	70,8	112,2	293,1	0,82	0,15	0,64	0,19	2,27	0,32
Maximum	158,9	242,6	432,5	8,10	1,77	5,88	1,40	5,52	2,78
Moyenne	120,0	181,6	351,5	3,46	0,70	2,59	0,70	3,39	1,29
Ecartype	24,7	38,0	36,4	2,64	0,60	1,96	0,48	1,05	0,94

3.2 Réponses mécaniques selon le type de béton de chanvre

Trois comportements mécaniques du BC sont observés vis-à-vis des types de chènevotte utilisés. Ils sont caractérisés par les différents niveaux de déformation :

- Faible niveau de déformation : on constate d'une part une faible déformation, d'environ 3%, de telle sorte que la contrainte de compression maximale apparaisse dans certains cas lors du 2^{ème} cycle de chargement avant la fin de l'essai.

¹ Quantité d'eau absorbée par un échantillon de 20g de chènevotte après 1 minute d'immersion.

² Quantité d'eau absorbée par un échantillon de 20g de chènevotte après 48 heures d'immersion.

³ Obtenue en divisant la surface spécifique d'un échantillon de 3g par le nombre des particules de cet échantillon.

- Niveau de déformation intermédiaire : par ailleurs, on a de forts niveaux de déformation, l'éprouvette est compressible jusqu'à plus de 20%, niveau maximal imposé.

Dans l'illustration donnée plus bas, nous présentons les photos (de gauche vers à droite) avant et après l'essai avec la courbe contrainte-déformation (Figures 1 à 3) pour les trois comportements.

Le faible niveau de déformation est rencontré pour la chènevotte ayant une taille de particule faible ($1,36\text{mm}^2$ de surface moyenne d'une particule) et une surface moyenne spécifique élevée ($18822\text{mm}^2/3\text{g}$), telle que la chènevotte C13. En effet, pour ce type de chènevotte, les particules empêchent la bonne liaison avec la matrice liante ce qui fragilise l'ensemble et résulte en une faible résistance. La rupture est caractérisée par un écrasement total de l'éprouvette, figure 1 b.

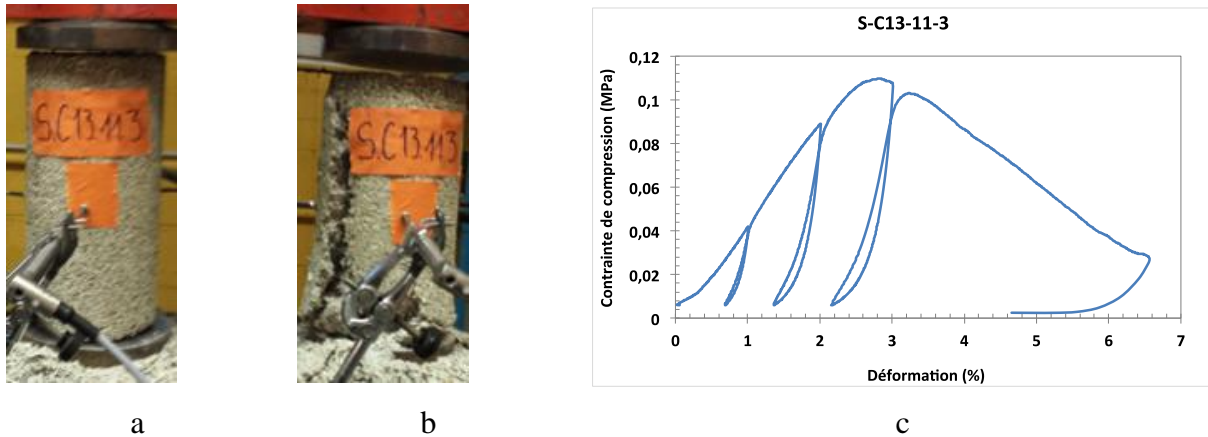


Figure 1 : comportement du béton de chanvre à faible déformation

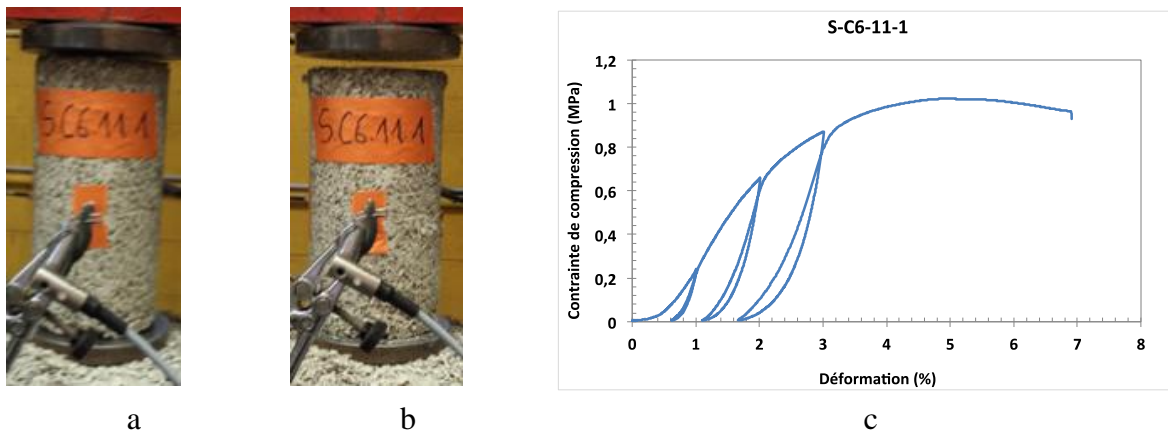


Figure 2: comportement du béton de chanvre à déformation modérée

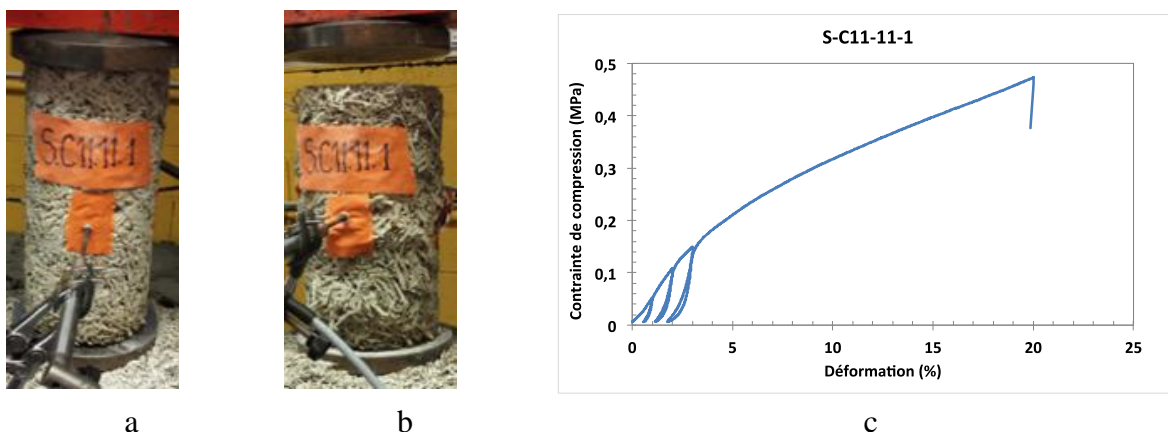


Figure 3: comportement du béton de chanvre à fort déformation

Dans le cas de forte déformation, les particules de chanvre (15.00/15mm) un empilement de strates. En effet, ce réarrangement est facilité par la taille des particules induisant un bon chevauchement des particules les unes contre les autres. Par ailleurs, il est possible que la forte capacité d'absorption d'eau (340% au bout de 48 h) pour ce type de chanvre amplifie le niveau de déformation. En effet, l'eau nécessaire à la prise et au durcissement du liant étant absorbée par la chènevotte, il se passe probablement un phénomène de fausse prise. Suite à ce phénomène, la matrice liante ne joue plus son rôle mécanique, on observe alors pour le BC un comportement similaire à celui du granulats de chanvre, caractérisé par une grande déformation (figure 3 b et c). A noter que ces constatations ne sont pas forcément généralisables sur l'ensemble des chènevottes étudiées. Ceci laisse penser que l'interaction chimique entre le liant et les chènevottes utilisées peut contribuer également à la réponse mécanique observée.

L'étude de la composition chimique et celles des molécules faiblement liées aux parois végétales « extractibles » peuvent permettre de mieux comprendre l'impact de l'interaction chimique liant-chènevotte sur la prise et le durcissement du BC. Dans une étude antérieure [GOU 14], il a été démontré que ces composés chimiques « extractibles » affectent significativement la prise hydraulique des liants.

3.3 Analyses multicritère des propriétés des bétons de chanvre

L'analyse multicritère a permis de classer et de sélectionner les différents types de chènevotte avec la possibilité de prédire leurs impacts sur les propriétés du BC [NIY 15]. En conclusion de cette étape, il a été suggéré de mener une étude sur les BC dans le but de valider la classification qui a été proposée. Il s'agit en effet, de valider les hypothèses prises en compte lors de cette analyse. Les résultats obtenus présentent des variabilités significatives (Tableau 3). De ces résultats, une étude de corrélation entre les propriétés du BC révèle de très bonnes corrélations entre certaines propriétés. De plus, l'analyse séparée des propriétés du BC (l'une après l'autre ou encore deux à deux) permet d'observer les premières tendances en ce qui concerne l'impact de la chènevotte. A ce niveau, il est possible d'apprécier la qualité du BC en prenant en compte une ou deux caractéristiques à la fois. Ces résultats n'étant pas concluants, une étude comparative prenant en compte plusieurs caractéristiques à la fois est nécessaire. Elle permet de mettre en évidence l'impact des chènevottes sur le BC. Le principe utilisé est le même que dans le cas de la chènevotte [NIY 15].

Tableau 3: valeurs moyennes pour différentes propriétés des BC à 30 et 180 jours

N° d'éprouvette/ Echéance	Masse volumique (ρ) après échage [kg/m ³]		Contrainte (σ) maximale [MPa]		Contrainte (σ) à 5% de déformation (ϵ) [MPa]		Module (E) apparent [MPa]		Module (E) élastique [MPa]		Conductivité thermique (λ) [W/m.K]	
	30j	180j	30j	180j	30j	180j	30j	180j	30j	180j	30j	180j
	P-C2-11	407,5	429,6	0,55	0,57	0,51	0,55	29,5	29,1	54,2	58,8	0,116
P-C4-11	392,7	399,4	0,40	0,42	0,34	0,31	15,0	15,1	29,5	33,1	0,094	0,075
P-C5-11	426,1	452,3	0,84	0,87	0,79	0,82	46,8	40,4	87,4	89,0	0,124	0,087
P-C12-11	431,0	437,9	0,44	0,42	0,40	0,36	16,4	14,1	37,7	35,2	0,093	0,080
S-C3-11	389,9	410,0	0,61	0,66	0,60	0,61	33,5	31,0	56,8	56,0	0,111	0,092
S-C6-11	460,3	479,7	1,07	1,07	1,05	1,02	61,0	42,8	114,2	103,4	0,119	0,091
S-C10-11	477,7	493,5	0,18	0,25	0,16	0,18	4,9	7,7	15,6	20,9	0,101	0,087
S-C11-11	416,7	417,6	0,44	0,40	0,22	0,21	6,2	10,9	18,5	20,1	0,101	0,079
S-C13-11	449,2	449,3	0,13	0,13	0,05	0,10	5,7	12,3	19,0	20,7	0,096	0,075

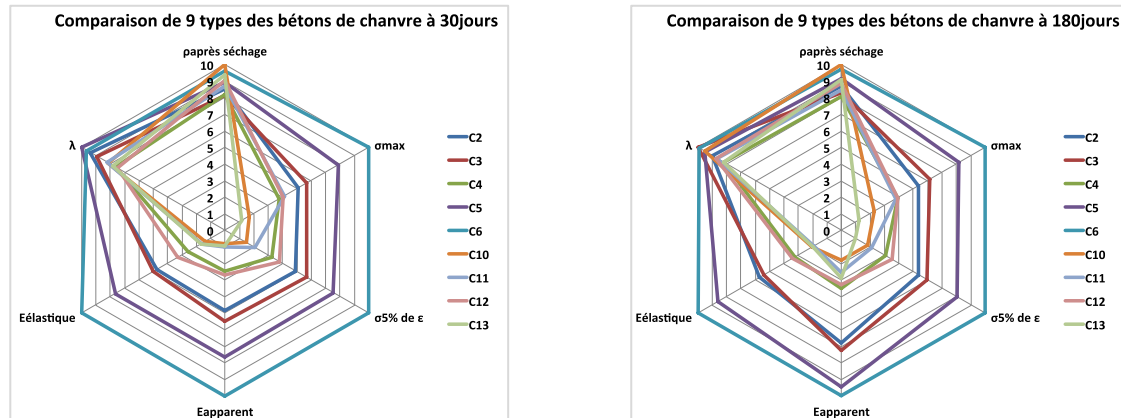
3.4 Classification de différents types de béton chanvre

Pour rappel, treize différents types de chènevottes ont été caractérisés (Tableau 2) et ont fait l'objet d'une étude de classification [NIY 5]. Par la suite, neuf types ont été sélectionnés et utilisés pour la confection des éprouvettes de béton de chanvre. Lors de la sélection, nous avons pris en compte les trois groupes identifiés de telle sorte que chacun soit représenté. Les chènevottes sélectionnées sont :

- groupe 1 : C10, C12 et C13 ;
- groupe 2 : C2, C3, C4 et C11 ;
- groupe 3 : C5 et C6.

L'analyse des résultats de l'étude met en évidence la sensibilité des propriétés du BC vis-à-vis du type de chènevotte utilisée. Certaines sont moins impactées par le type de chènevotte alors que d'autres sont largement

modifiées. Sur la même échelle de comparaison [NIY 15], les résultats de la Figure 4 montrent des dispersions de l'ordre de 1 à 10, notamment pour les performances mécaniques. Nous observons par ailleurs, des dispersions de l'ordre de 8 à 10 pour la masse volumique sèche et la conductivité thermique. Pour ces dernières, les valeurs obtenues pour les différents types de BC sont proches les unes des autres. Ce qui confirme et justifie le choix fait lors de la classification [NIY 15], qui consiste à baser notre démarche de prédiction sur les performances mécaniques, car ce sont ces dernières qui se trouvent les plus impactées par le type de la chènevotte. Au-delà de la représentation graphique (Figure 4), il est important de procéder à une analyse approfondie pour comprendre les liens entre les différences constatées et le type de chènevotte utilisée. Une représentation séparée permet de mieux distinguer les BC occupant le centre, le milieu et la périphérie du diagramme radar, on distingue alors trois groupes.



a. b.
Figure 4: comparaison des différents BC prenant en compte différentes caractéristiques

3.1.1 Béton de chanvre (BC) de groupe 1

Les BC de ce groupe, sont ceux fabriqués avec les chènevottes qui ont été classées en groupe 1. En effet, les chènevottes de ce groupe, sont caractérisées par la faible taille de particules, avec une faible et moyenne capacité d'absorption d'eau [NIY 15]. D'après les hypothèses retenues, dans la mesure où ces propriétés avaient été considérées comme étant néfastes pour les performances mécaniques, et vu leurs faibles valeurs, il avait été conclu que ces chènevottes donneraient des bétons de bonnes performances mécaniques.

Contrairement à la prédiction, ces bétons de chanvre donnent de faibles performances mécaniques. En effet, la capacité d'absorption d'eau considérée comme néfaste ne l'est pas forcément en réalité. Le caractère bénéfique ou néfaste dépend probablement du type de liant utilisé. Dans une étude réalisée par Nguyen [NGU 10] sur quatre types de liant utilisés, ceux contenant en plus des pouzzolanes ont donné de meilleures résistances mécaniques, et les liants hydrauliques à base de ciment ont conduit à de faibles résistances.

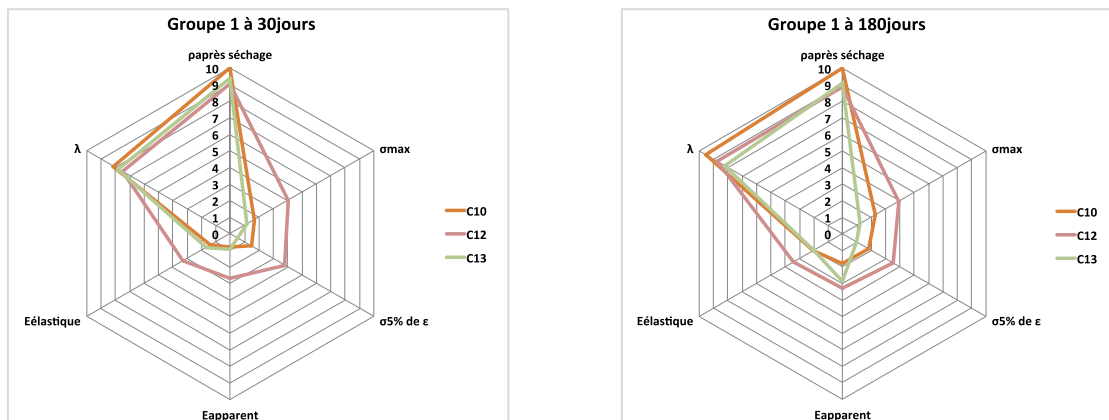


Figure 5 : Bétons de chanvre classés dans le groupe 1

Par ailleurs, l'étude de Arnaud et Gourlay [ARN 12] conclut que la diminution de la taille de particules améliore la performance mécanique du BC. Or, ceci n'est pas le cas d'après nos résultats. D'ailleurs, cette constatation a été mise en évidence dans les travaux de Stevulova et al. [STE 13]. D'après leurs travaux, la diminution de la taille des particules entraîne une amélioration de la performance mécanique du BC à condition que les chènevottes utilisées soient de même origine. Il convient de souligner qu'en utilisant le liant Tradical PF70, Nguyen [NGU 10] avait également constaté une amélioration des performances mécaniques lorsque la taille augmente.

D'après nos résultats, et vis-à-vis de la taille des particules, il est mis en évidence, le fait que plus la surface spécifique augmente plus les performances mécaniques diminuent. Cette constatation est en partie en accord avec les résultats d'Arnaud et Gourlay [ARN 12], car, plus la surface spécifique augmente, plus l'interface granulat/liant augmente. Or il a été démontré par Nozahic [NOZ 12] que l'interface liant/granulat qui est naturellement mauvaise contribue à la mauvaise performance du BC.

De ces résultats, il est clair que le caractère bénéfique ou néfaste de la taille des particules et de la capacité d'absorption d'eau, dépend du type de liant utilisé et de son interaction avec la chènevotte.

3.1.2 Béton de chanvre de groupe 2

Dans ce groupe, les BC sont caractérisés par une amélioration des performances mécaniques vis-à-vis de ceux du groupe 1. La différence constatée pour les performances mécaniques de ce groupe donne lieu à deux sous-groupes. Il s'agit du sous- groupe A composé de C2 et C3 et du sous-groupe B composé de C4 et C11. Le sous-groupe B semble appartenir au groupe 1 [NIY 15]. Ces sous-groupes résultent des caractéristiques des chènevottes comme nous l'expliquons dans la suite.

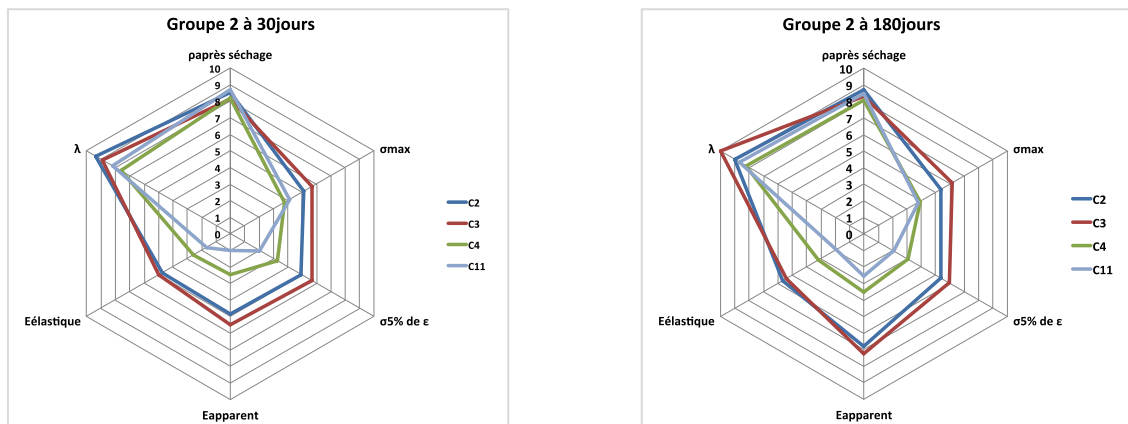


Figure 6: bétons de chanvre classés dans le groupe 2

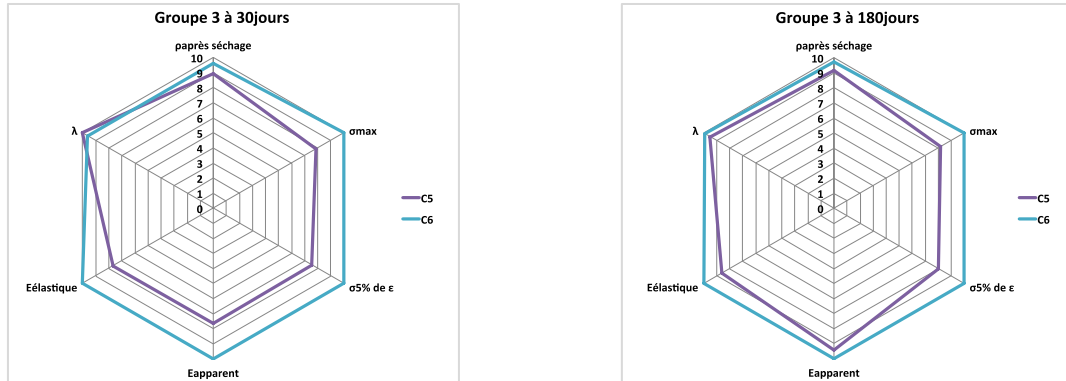
D'une part, il convient de remarquer que le béton de chanvre C11 peut passer du groupe 1 au groupe 2 ; par ailleurs, la chènevotte C12 classée en groupe 1 peut également passer au groupe 2 [NIY 15]. En effet, lors de la classification de ces chènevottes [NIY 15], leurs positions sur le diagramme radar pouvaient conduire à les mettre dans le groupe 1 ou 2. L'analyse de leurs caractéristiques géométriques a alors permis de trancher. La C11 est caractérisée par une géométrie plus élevée que la C12, raison pour laquelle elle a été classée en groupe 2.

D'autre part, dans ce même sous-groupe, la chènevotte C4 est d'après les résultats de classification [NIY 15] à la frontière des deux groupes 1 et 2. Sa taille légèrement plus grande et sa capacité d'absorption d'eau relativement plus petite vis-à-vis des chènevottes du groupe 1 ont permis de la classer en groupe 2.

Au moment où les chènevottes du groupe 1 ont des valeurs de performance mécanique de l'ordre de 1 à 4 sur l'échelle de comparaison, on observe une amélioration dans le groupe 2, cette fois-ci, avec des valeurs de l'ordre de 4 à 7 notamment pour la contrainte maximale de compression.

3.1.3 Béton de chanvre de catégorie 3

Les BC de cette catégorie sont les BC des chènevottes qui ont aussi le 1^{er} ou 1^{er} (position) à l'extérieur du diagramme radar. D'après nos hypothèses, ces chènevottes étaient censées donner les résultats avec de faibles performances. Néanmoins, une réserve avait été émise quant aux chènevottes de ce groupe suite à la bonne corrélation entre les résultats de leurs caractéristiques. Ce qui n'était pas le cas pour les chènevottes de groupes 1 et 2 [NIY 15].



a. **Figure 7: bétons de chanvre classés dans le groupe 3** b.

La compréhension des causes à l'origine de cette bonne corrélation entre ces caractéristiques peut permettre de mieux comprendre pourquoi ces chènevottes donnent les BC de bonnes performances mécaniques. Parmi les pistes se trouve l'analyse de la structure interne à l'échelle microscopique de ces chènevottes. Ceci permettra de mieux comprendre leurs porosités et de faire le lien entre la taille des particules et la capacité d'absorption d'eau.

Comparativement aux autres groupes (1 et 2), ces BC ont des performances mécaniques de l'ordre de 8 à 10 toujours sur la même échelle de comparaison.

4. Conclusion

Le type de chènevotte utilisée a été identifié comme étant à l'origine des dispersions significatives constatées, notamment dans le cas des performances mécaniques. Nous avons mis en évidence les trois grands types de réponse mécanique lors de l'essai de compression sur le BC. Il s'agit principalement des comportements caractérisés par une faible, moyenne et forte déformation. La grande surface spécifique de la chènevotte a été identifiée comme étant à l'origine de la faible liaison interface liant-granat, elle conduit à une rupture totale de l'éprouvette. Par ailleurs, la grande capacité d'absorption d'eau, cause probable de « l'effet de fausse prise » associée à la taille des particules, a été identifiée comme étant à l'origine des grandes déformabilités constatées.

Contrairement à la littérature, il est clair que seule la taille (longueur, largeur, etc.) de la chènevotte ne suffit pas pour prédire les performances du BC à la sortie. Il faut prendre en compte d'autres caractéristiques (teneur en eau, etc.). Ainsi, le type de chènevotte qui optimise ces caractéristiques donne un béton de bonnes performances. Cependant, il est fort possible qu'en changeant le type de liant, les tendances observées changent également.

5. Bibliographie

- [ARN 12] ARNAUD, LAURENT ; GOURLAY, ETIENNE: Experimental study of parameters influencing mechanical properties of hemp concretes. In: Construction and Building Materials vol. 28, Elsevier (2012), Nr. 1, p. 50- 56.
- [GOU 14] GOURLAY, ETIENNE: Caractérisation expérimentale des propriétés mécaniques et hygrothermiques du béton de chanvre. Détermination de l'impact des matières premières et de la méthode de mise en œuvre. Lyon, 2014.
- [NGU 10] NGUYEN, TAI THU: Contribution à l'étude de la formulation et du procédé de fabrication d'éléments de construction en béton de chanvre, Université de Bretagne Sud (2010).
- [NIY 15] NIYIGENA, CESAR ; AMZIANE, SOFIANE ; CHATEAUNEUF, ALAA: Etude de la variabilité des caractéristiques de granulats de chanvre. In: Rencontres Universitaires de Génie Civil, 2015.
- [NIY 16] NIYIGENA, CESAR ; AMZIANE, SOFIANE ; CHATEAUNEUF, ALAA ; ARNAUD, LAURENT ; BESSETTE, LAETITIA ; COLLET, FLORENCE ; LANOS, CHRISTOPHE ; ESCADEILLAS, GILLES ; LAWRENCE, MIKE ; et al.: Variability of the mechanical properties of hemp concrete. In: Materials Today Communications vol. 7, Elsevier (2016), p. 122- 133.

[NOZ 12] NOZAHIC, YINGEN VE A.M.P.H. 5 Le Journal de la recherche scientifique et technique en génie des matériaux et des procédés de fabrication des matériaux composites et des matériaux innovants, n° 15, 2017, p. 100-115 (15 min)
sur la compréhension et l'amélioration de l'interface liant/végétal: application à des granulats de chènevotte et de tige de tournesol associés à un liant ponce/chaux, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II (2012).

[STE 13] STEVULOVA, NADEZDA ; KIDALOVA, LUCIA ; CIGASOVA, JULIA ; JUNAK, JOZEF ; SICAKOVA, ALENA ; TERPAKOVA, EVA: Lightweight composites containing hemp hurds. In: Procedia Engineering vol. 65, Elsevier (2013), p. 69- 74.