

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR MÉTIER DE LA CHIMIE

E4 PHYSIQUE-CHIMIE - SOUS-ÉPREUVE U42

ÉTUDE DE CAS PROFESSIONNELS EN FORMULATION ET ANALYSE

SESSION 2023

**Durée : 4 heures
Coefficient : 4**

Matériel autorisé :

L'usage de calculatrice avec mode examen **actif** est autorisé.

L'usage de calculatrice **sans mémoire**, « type collègue » est autorisé.

Tout autre matériel est interdit.

Le sujet se compose :

- d'un énoncé de 15 pages (les questions sont numérotées de 1 à 36)
- de documents et données regroupés dans une annexe (4 pages)

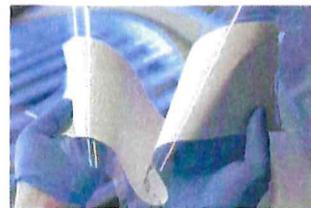
Aucun autre document n'est autorisé.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR MÉTIERS DE LA CHIMIE	Code sujet :	Session 2023
U42 ÉTUDE DE CAS PROFESSIONNELS EN FORMULATION ET ANALYSE	23-MH42ECA-P	Page de garde

La chimie verte dans l'industrie des céramiques techniques

Dans le secteur de l'électronique, les condensateurs multicouches et les substrats minces en céramique sont fabriqués par coulage en bande. Cette technique permet d'obtenir des feuilles de céramiques de faible épaisseur (de 25 à 1 000 μm) mais de grandes dimensions.



Le procédé nécessite la mise en suspension de poudres dans un milieu comprenant des solvants, des dispersants, des liants et des plastifiants. L'ensemble de ces constituants forme une suspension, appelée barbotine, qui est coulée sur un support de polymère parfaitement lisse et plan. Le film obtenu, appelé bande crue, est ensuite séché par évaporation du solvant et découpé à la forme voulue. Il subit un frittage à haute température qui a pour effet de densifier la pièce.

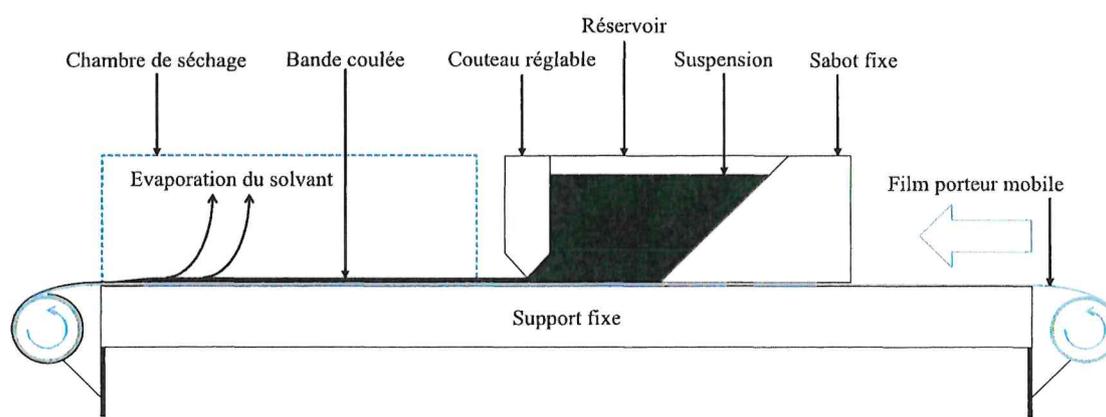


Figure – Schéma de principe du coulage en bande en mode continu

L'objectif de l'étude est de substituer les additifs actuellement utilisés pour la mise en forme de céramiques techniques en phase aqueuse (principalement dispersant, liant et plastifiant) par des additifs issus de ressources renouvelables, plus respectueux de l'environnement et de la santé humaine.

Cahier des charges :

- formuler des suspensions aqueuses d'alumine à partir d'additifs biosourcés ayant un comportement rhéologique adapté au procédé de coulage en bande ;
- obtenir des bandes céramiques présentant des caractéristiques similaires aux bandes obtenues à partir des suspensions traditionnelles.

Chaque partie correspond à une piste du sujet d'étude :

- partie 1 : étude de l'impact du lignosulfonate d'ammonium sur la stabilité de la suspension d'alumine ;
- partie 2 : étude des propriétés liantes des polysaccharides ;
- partie 3 : évaluation des propriétés rhéologiques et mécaniques des suspensions céramiques biosourcées.

Source : toutes les données de ce sujet sont extraites du mémoire de thèse de J. Marie, université de Limoges, 2018.

Partie 1 - Étude de l'impact du lignosulfonate d'ammonium sur la stabilité de la suspension d'alumine

Pour réaliser des bandes homogènes et compactes de faible épaisseur, il est nécessaire que les grains d'alumine soient dispersés sans agglomérats dans le milieu aqueux.

Le lignosulfonate d'ammonium, extrait du pin maritime des Landes et résidu de la mise en pâte du bois, est sélectionné comme potentiel dispersant biosourcé, substituant du Darvan C-N.

A. Tests de sédimentation

Des tests de sédimentation sont réalisés afin de comparer l'efficacité du lignosulfonate d'ammonium sur la stabilité de la suspension à celles obtenues avec d'autres dispersants non biosourcés couramment utilisés.

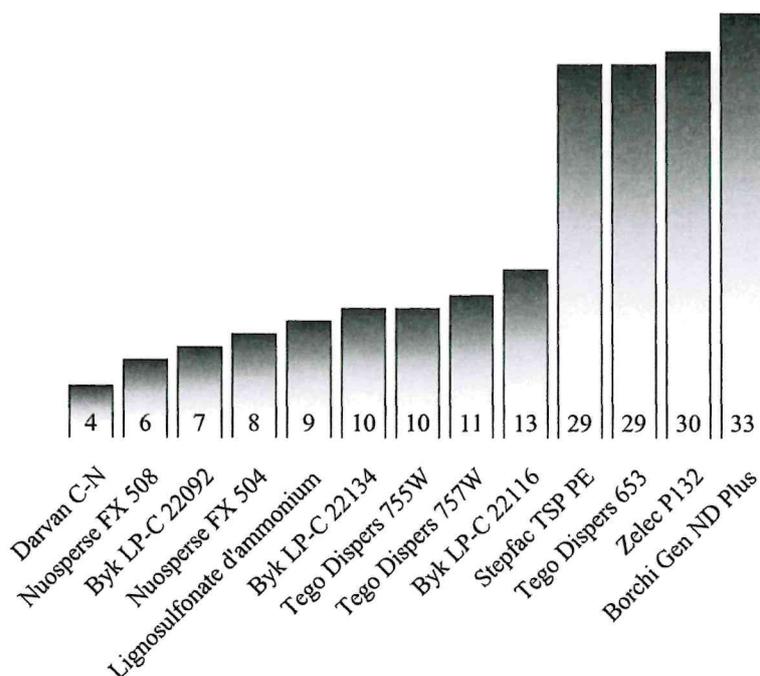
Protocole répété pour chaque dispersant :

- 3 g d'alumine sont introduits dans un tube à essai, d'une hauteur de 16,0 cm, avec 1 % de matière active de dispersant par rapport à la masse d'alumine ;
- de l'eau distillée est ajoutée jusqu'à environ 1 cm du haut du tube.
- le tube est soumis 5 minutes à des ultrasons ;
- après 50 heures au repos, la hauteur des dépôts de sédimentation H est mesurée.



Les résultats obtenus sont présentés ci-dessous.

Hauteur des dépôts de sédimentation (H) en mm



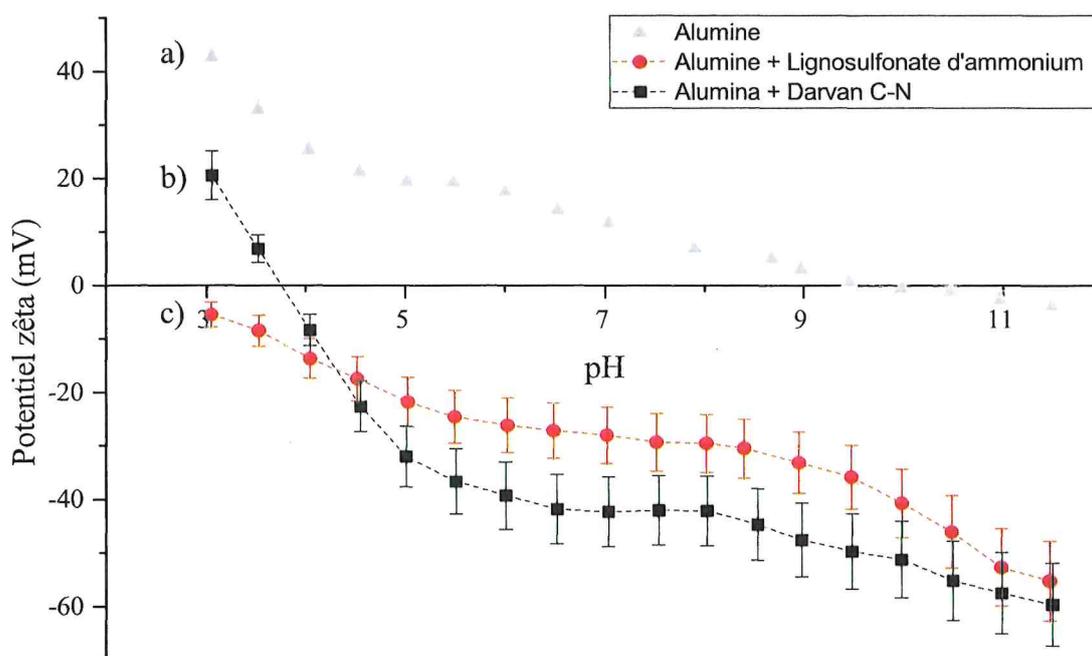
1. Classer les différents dispersants en deux groupes à partir des résultats des tests de sédimentation réalisés et discuter la possibilité d'utiliser le lignosulfonate d'ammonium.
2. Expliquer le mode d'action du lignosulfonate d'ammonium en identifiant sur sa structure les parties responsables de l'effet dispersif.

B. Étude comparative des charges de surface de l'alumine en présence de deux dispersants

La stabilité d'une suspension est régie par un équilibre entre les forces d'attraction de Van der Waals et les forces répulsives. Le potentiel zêta correspond au potentiel électrostatique des particules en solution. Il permet d'évaluer la stabilité des suspensions. En effet, une suspension est considérée comme stable si la valeur absolue de son potentiel zêta est supérieure ou égale à 30 mV.

La figure suivante illustre la mesure du potentiel zêta pour trois suspensions d'alumine en fonction du pH :

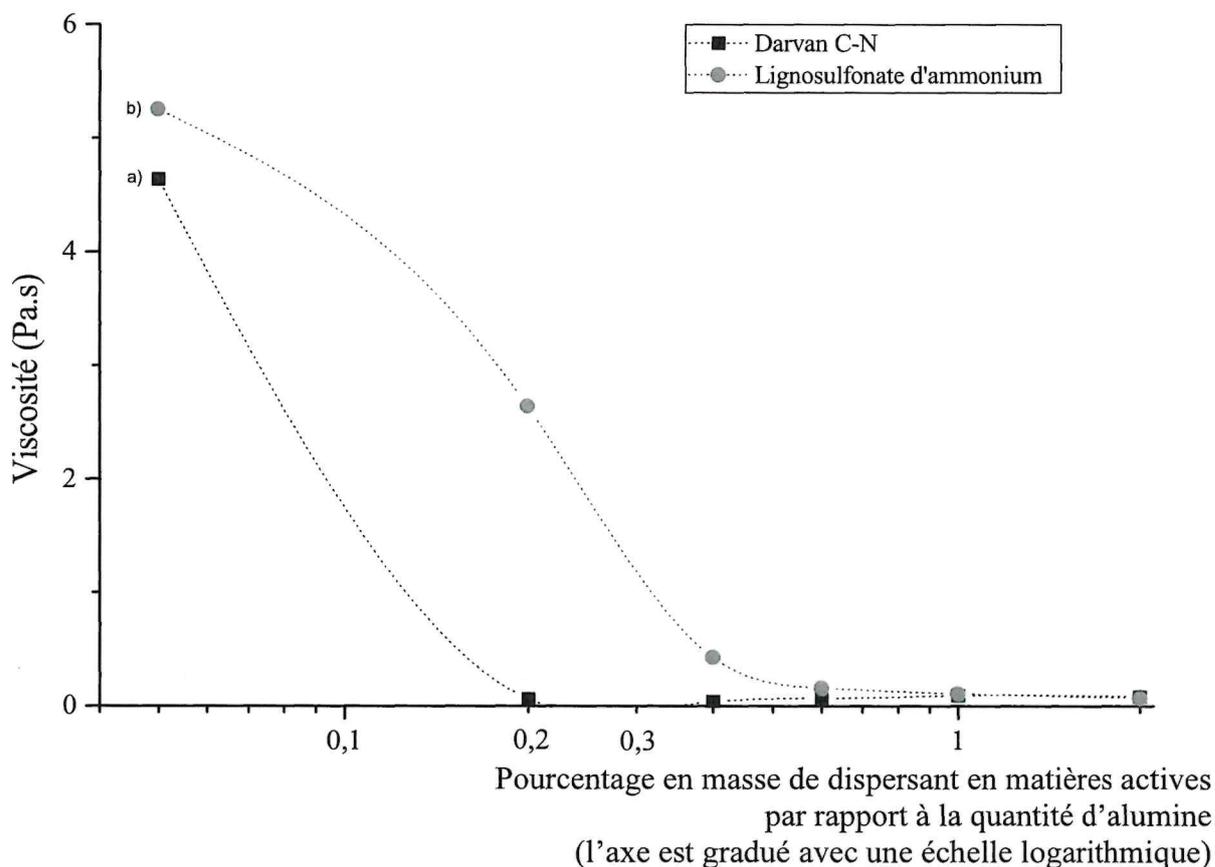
- une suspension sans dispersant ;
- une suspension avec 1 % en masse de Darvan C-N par rapport à la quantité d'alumine ;
- une suspension avec 1 % en masse de lignosulfonate d'ammonium par rapport à la quantité d'alumine.



- Discuter de la stabilité de la suspension d'alumine sans additif dispersant en fonction du pH.
- Les valeurs du pH des suspensions formulées sont comprises entre 8 et 9, intervalle typique d'une suspension de coulage. Discuter, en expliquant le raisonnement mené, la stabilité des trois suspensions d'alumine sur cet intervalle.

C. Détermination de la concentration optimale en dispersant

La viscosité de suspensions d'alumine est représentée en fonction du pourcentage en masse de dispersant en matières actives par rapport à celle d'alumine, pour le Darvan C-N (a) et le lignosulfonate d'ammonium (b) :



5. Expliquer l'allure des courbes de défloculation. Définir le terme « flow point ».
6. Proposer une méthode pour obtenir ces courbes en précisant le matériel et la façon de procéder.

On s'intéresse à la préparation des suspensions de Darvan C-N et de lignosulfonate de sodium utilisées pour mesurer les viscosités correspondant au pourcentage en masse de 0,2 % de dispersant en matières actives.

7. En tenant compte des pourcentages de produit actif, déterminer les valeurs des masses de dispersants commerciaux à utiliser pour obtenir les points à 0,2 % de dispersant en matières actives pour une masse de 300 g de poudre d'alumine.
8. Déterminer l'économie réalisée pour une dispersion aqueuse contenant 1 tonne d'alumine si on utilise le lignosulfonate d'ammonium commercial à la place du Darvan C-N commercial, à leurs dosologies optimales respectives.

Pour cette question, le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter correctement la démarche suivie. Elle sera valorisée même si elle n'a pas abouti.

D. Confirmation de la dosologie optimale en lignosulfonate d'ammonium par quantification de l'adsorption à la surface de l'alumine

L'objectif de cette partie est de vérifier que la dosologie déterminée permet une adsorption optimale du lignosulfonate d'ammonium à la surface de l'alumine. Cette étude est réalisée à l'aide de mesures d'absorbance basées sur le protocole décrit par Gouré-Doubi et al.

Établissement de la droite d'étalonnage du lignosulfonate d'ammonium par spectrophotométrie d'absorption moléculaire

Une gamme d'étalonnage est réalisée à partir d'une solution mère de lignosulfonate d'ammonium de concentration $250,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

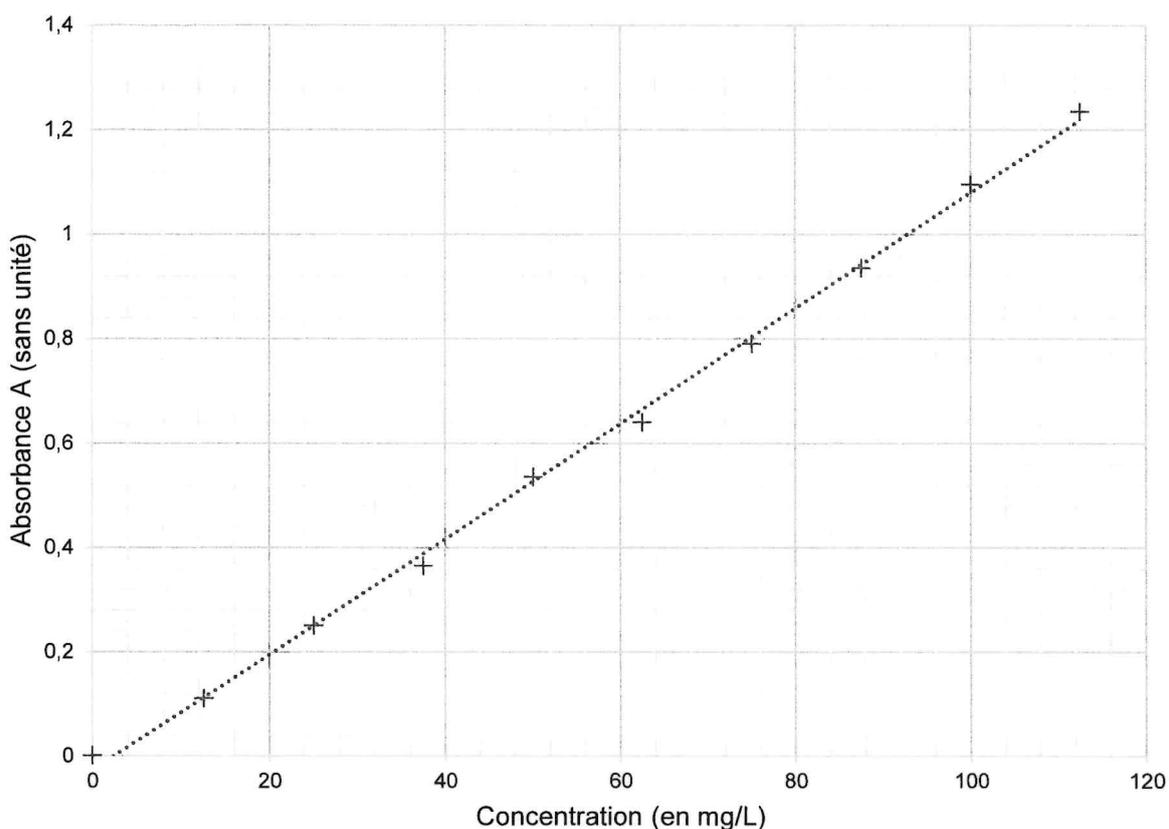
9. Proposer en argumentant une longueur d'onde pour réaliser la courbe d'étalonnage.
10. Justifier l'absorption du lignosulfonate d'ammonium dans l'UV à partir de sa structure moléculaire.

Les valeurs de l'absorbance A des solutions de la gamme d'étalonnage obtenues à partir de la solution mère, toutes préparées dans des fioles de $100,0 \text{ mL}$, sont données dans le tableau ci-dessous.

Solutions	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$V_{\text{solution mère}}$ (en mL)	0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0
$C_{\text{solution diluée}}$ (en mg/L)	0	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0	112,5
Absorbance A (sans unité)	0,001	0,110	0,250	0,365	0,535	0,640	0,790	0,935	1,095	1,235

11. Retrouver, par un calcul, la valeur de la concentration en lignosulfonate d'ammonium de la solution 5 de la gamme d'étalonnage.

Le nuage de points des valeurs des absorbances en fonction des concentrations en lignosulfonate d'ammonium et sa modélisation affine sont représentés ci-dessous.



12. À l'aide de la calculatrice, déterminer les caractéristiques de la modélisation proposée sur le graphique.

Une autre modélisation, obtenue à partir de la loi de Beer-Lambert, a pour caractéristiques :

$$A = 0,0107 \times C \quad \text{avec un coefficient de corrélation } R^2 = 0,997.$$

13. Comparer les deux modélisations. Conclure.

14. Proposer un autre critère, plus adapté que le R^2 , pour vérifier le domaine de linéarité de l'étalonnage.

Protocole de Gouré-Doubi et al.

Sept suspensions aqueuses de volume 40,0 mL contenant 200 mg d'alumine sont préparées à différentes concentrations C_0 en lignosulfonate d'ammonium. Le taux en alumine de ces suspensions correspond à la masse d'alumine introduite par unité de volume de solution. Sa valeur est égale à $t_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 5,0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$.

En cas de nécessité, la valeur du pH des suspensions est ajustée autour de 8 (pH typique d'une suspension de coulage avec l'alumine) avec une solution de soude (Na^+ ; OH^-) de concentration $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Une première mesure d'absorbance A_0 est effectuée.

Les suspensions sont alors agitées pendant 72 heures à température ambiante.

Après 72 heures d'agitation, les surnageants sont récupérés après 4 centrifugations d'une durée de 30 min chacune à 12 000 tr.min⁻¹. Les surnageants sont alors analysés afin de déterminer les concentrations résiduelles en lignosulfonate d'ammonium (appelée C_e) par une mesure d'absorbance, notée A_e.

La quantité de lignosulfonate d'ammonium adsorbée par gramme d'alumine, notée Q et exprimée en mg.g⁻¹, est ensuite calculée grâce à la relation suivante :

$$Q = \frac{C_0 - C_e}{t_{Al_2O_3}}$$

avec C₀ et C_e respectivement les concentrations apportées et résiduelles de lignosulfonate d'ammonium, exprimées en mg.L⁻¹, et t_{Al₂O₃} le taux en alumine dans les suspensions, exprimé en g.L⁻¹.

Les résultats pour les sept solutions sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Suspension	1	2	3	4	5	6	7
t _{Al₂O₃} (en g.L ⁻¹)	5,0						
C ₀ (en mg.L ⁻¹)	14,7	26,9	51,2	63,4	87,8	99,9	114,1
C _e (en mg.L ⁻¹)	6,2	9,0	24,8	33,0	54,8	62,3	76,4
Q (en mg.g ⁻¹)	1,7	3,6	5,3	6,1	6,6	7,5	7,5

Pour la suspension 4, les mesures d'absorbance donnent A₀ = 0,672 et A_e = 0,350.

15. À partir de la modélisation linéaire $A = 0,0107 \times C$, calculer les valeurs des concentrations C₀ et C_e en lignosulfonate d'ammonium correspondant aux valeurs d'absorbance obtenues. Justifier les écarts obtenus avec les valeurs obtenues expérimentalement.
16. Confirmer la valeur de la quantité Q (en mg.g⁻¹) de lignosulfonate d'ammonium adsorbée par gramme d'alumine pour la suspension étudiée.
17. Décrire l'influence de la concentration en lignosulfonate d'ammonium apportée sur la quantité adsorbée à la surface de l'alumine et déduire la valeur de concentration optimale à préconiser. Conclure.

Partie 2 – Étude des propriétés liantes des polysaccharides

Des polymères naturels filmogènes de la famille des polysaccharides sont sélectionnés comme liants potentiels :

- le psyllium, extrait mécaniquement du plantain des Indes,
- la cellulose microcristalline, extraite chimiquement du bois,
- la pectine de citron, extraite chimiquement de la peau de citron.

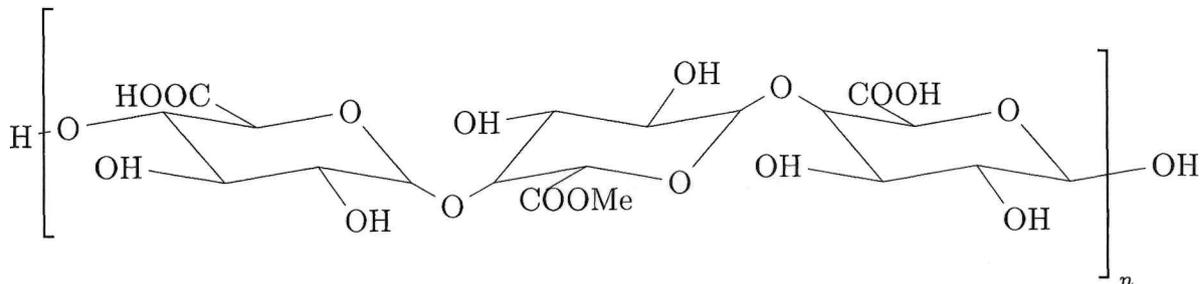
Le psyllium est soluble dans l'eau, la pectine de citron peut l'être tandis que la cellulose microcristalline forme une suspension colloïdale.

A. Détermination du degré d'estérification de la pectine commerciale

Avant de commencer l'étude des liants, un contrôle qualité des matières premières est effectué, notamment sur la pectine commerciale.

La pectine est une macromolécule constituée d'un motif de trois acides galacturoniques dont certains sont naturellement estérifiés.

Exemple d'une structure de l'acide polygalacturonique avec une fonction acide carboxylique estérifiée sur la 2^{ème} unité



Le taux de fonctions estérifiées peut être quantifié par le degré d'estérification (DE) défini par la relation suivante :

$$DE = \frac{\text{nombre de fonctions estérifiées}}{\text{nombre de fonctions acides carboxyliques non estérifiées} + \text{nombre de fonctions estérifiées}}$$

Il existe deux types de pectine commerciale :

- la pectine hautement méthoxylée (HM), caractérisée par un degré d'estérification (DE) supérieur à 50 % et qui est soluble dans l'eau ;
- la pectine faiblement méthoxylée (LM), caractérisée par un degré d'estérification inférieur à 50 % et qui n'est soluble dans l'eau qu'en présence d'agents chélatants (tels que Ca^{2+}).

Les pectines hautement méthoxylées (HM) gélifient grâce à une combinaison de liaisons hydrogènes et d'interactions hydrophobes formant un réseau tridimensionnel de forme hélicoïdale capable de fixer le solvant. Les pectines faiblement méthoxylées (LM) gélifient en présence de calcium dans une structure de type "boîte à œufs" dans laquelle chaque ion Ca^{2+} prend part à neuf liaisons entre les molécules de pectine.

Le degré d'estérification de la pectine est donc un paramètre important car il définit son comportement dans l'eau. Il est mesuré par un dosage établi dans le Food Chemicals Codex. Il consiste à titrer dans un premier temps les fonctions acides carboxyliques présentes sur la pectine puis, dans un deuxième temps, les fonctions esters.

Ce protocole de titrage est présenté ci-après.

1. Titrage des fonctions acides carboxyliques

Environ 0,5 g de pectine est introduit dans un erlenmeyer de 250 mL contenant 100 mL d'eau distillée et 2 mL d'isopropanol à 60 %. La solution est agitée jusqu'à complète dissolution de la pectine. 5 gouttes de phénolphthaléine (indicateur coloré) sont alors ajoutées. Une solution d'hydroxyde de sodium à $0,100 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ est utilisée comme solution titrante pour le titrage.

Le volume à l'équivalence, obtenu par le changement de couleur de l'indicateur coloré de l'incolore vers le rose, est noté V_1 .

2. Titrage des fonctions esters

20,0 mL d'une solution d'hydroxyde de sodium à $0,500 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ sont alors ajoutés au mélange dosé précédent en agitant vigoureusement pendant 15 minutes. 20,0 mL d'acide chlorhydrique à $0,500 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ sont introduits et la solution est agitée jusqu'à disparition de la couleur rose.

Trois gouttes de phénolphthaléine sont ajoutées et le titrage est réalisé avec une solution d'hydroxyde de sodium à $0,100 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ jusqu'à l'apparition d'une couleur rose persistante. Le volume nécessaire pour atteindre cette équivalence est noté V_2 .

Le degré d'estérification, exprimé en pourcentage, est obtenu grâce à la relation :

$$DE = 100 \times \frac{V_2}{V_1 + V_2}$$

18. Indiquer la raison pour laquelle l'isopropanol à 60 % est introduit dans le protocole de titrage de la pectine commerciale.

19. Écrire l'équation de la réaction support du titrage des fonctions acides carboxyliques, notées RCOOH , par la soude. Exprimer la relation à l'équivalence.

20. Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation des fonctions esters, notées RCOOMe , avec la soude introduite en excès, sachant qu'un des deux produits de la réaction est le méthanol.

Les résultats du titrage des fonctions acides carboxyliques et esters de la pectine commerciale sont respectivement $V_1 = 9,0 \text{ mL}$ et $V_2 = 15,0 \text{ mL}$.

21. Vérifier que, dans la première étape du titrage des fonctions esters, la soude a bien été introduite en excès sachant que la quantité de matière des fonctions esters s'exprime de la façon suivante :

$$n_{\text{RCOOMe}} = C_{\text{HO}^-} \times V_2$$

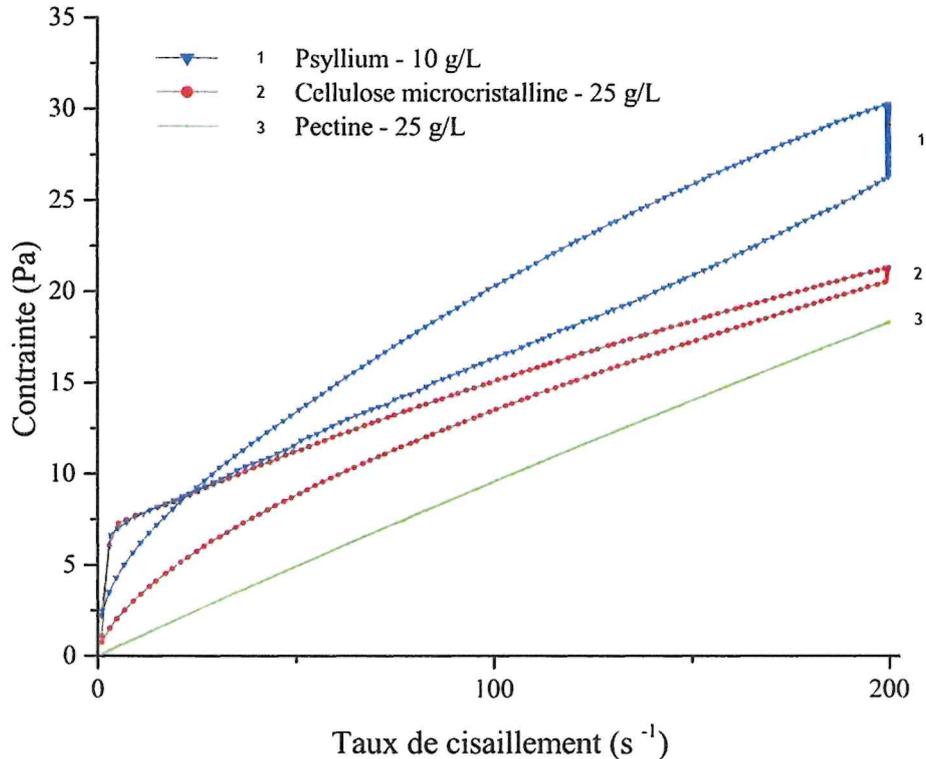
avec C_{HO^-} , la concentration en ions hydroxyde de la solution titrante.

22. Calculer le degré d'estérification de cette pectine. Vérifier si le résultat est en accord avec celui annoncé par le fabricant et en déduire le mécanisme de gélification de la pectine employée.

B. Rhéologie des gels de pectine, de cellulose microcristalline et de psyllium

On prépare trois gels formulés avec les trois polysaccharides précédemment cités afin de comparer leurs comportements rhéologiques.

L'évolution de la contrainte en fonction du taux de cisaillement des différents gels de polysaccharides formulés, pour une température de 23 °C, est donnée sur la figure suivante :



23. Décrire le matériel à utiliser et les conditions opératoires à imposer pour tracer les courbes de la figure précédente.

24. Comparer en le justifiant les comportements rhéologiques des trois gels de polysaccharides formulés.

Ces gels de polysaccharides biosourcés sont alors mélangés avec l'alumine et les autres additifs pour former les barbotines.

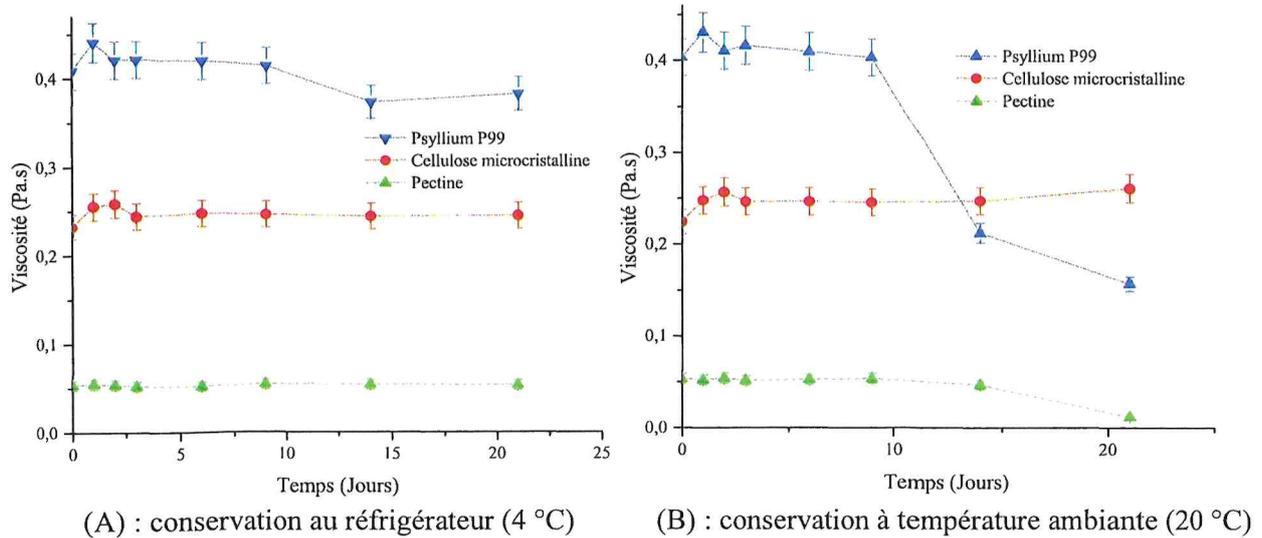
25. Expliquer les propriétés liantes des polysaccharides après séchage des bandes crues.

C. Stabilité des gels

Le vieillissement et la conservation des gels sont étudiés à travers l'évolution de leur viscosité au cours du temps. Des gels de pectine, de cellulose microcristalline et de psyllium sont formés et conservés dans des flacons hermétiquement fermés soit à une température ambiante d'environ 20 °C, soit au réfrigérateur à environ 4 °C.

Les mesures de viscosité sont alors réalisées à différents intervalles de temps pendant 3 semaines.

Valeurs des viscosités des gels mesurées en fonction du temps et du mode de conservation :



Après trois semaines de conservation à température ambiante, des micro-organismes commencent à se développer en surface des trois gels rendant toute mesure de viscosité impossible.

26. Indiquer l'origine de la dégradation des gels de polysaccharides au cours du temps.

27. Déduire en le justifiant le mode de conservation des gels à privilégier.

Partie 3 – Évaluation des propriétés rhéologiques et mécaniques des suspensions céramiques biosourcées

La dernière partie de ce travail a pour objectifs la formulation des suspensions aqueuses d'alumine à l'aide des différents additifs biosourcés précédemment présentés, puis la réalisation et la caractérisation des bandes d'alumine mises en forme par coulage en bande.

Le pourcentage en masse des polysaccharides dans les gels contrôle à la fois les propriétés rhéologiques des suspensions et les propriétés mécaniques des bandes avant séchage, appelées bandes crues.

A. Comportements rhéologiques et coulabilité

Trois suspensions, contenant un pourcentage massique d'alumine fixé à 40 %, sont réalisées à base de pectine de citron, de cellulose microcristalline et de psyllium.

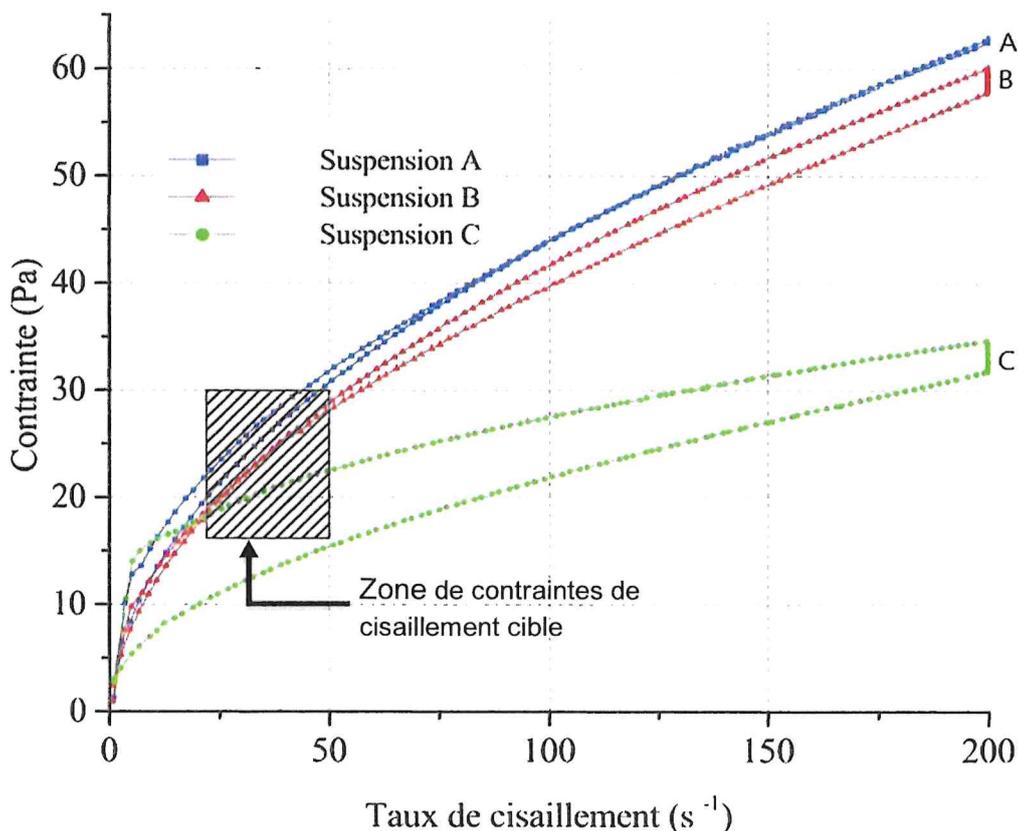
Des essais préliminaires ont été effectués afin de déterminer la concentration massique de polysaccharide optimale pour formuler le gel. Le lignosulfonate d'ammonium est utilisé comme dispersant, le glycérol comme plastifiant et le Byk LP-C 22787 comme agent anti bulle, tous trois sont biosourcés et biodégradables.

Pourcentage en masse des suspensions à base de pectine de citron A, de cellulose microcristalline B et de psyllium C :

Constituant	Suspension A	Suspension B	Suspension C
Alumine	40,0	40,0	40,0
Lignosulfonate d'ammonium	0,4	0,4	0,4
Pectine de citron	1,1	-	-
Cellulose microcristalline	-	1,6	-
Psyllium	-	-	0,7
Eau dé-ionisée	55,1	53,1	54,8
Glycérol	3,3	4,8	4,0
Byk LP-C 22787	0,1	0,1	0,1

28. Expliquer le rôle de plastifiant du glycérol en précisant son influence sur la valeur de la température de transition vitreuse du liant et les propriétés mécaniques des bandes crues.

Pour que les bandes crues soient facilement manipulables et sans défaut, les suspensions doivent présenter un comportement rhéofluidifiant et les valeurs de leurs viscosités doivent être comprises dans une zone de valeurs cibles. Les courbes d'écoulement des trois suspensions et la zone de contraintes de cisaillement cible sont représentées sur la figure suivante :



29. Estimer l'intervalle des valeurs de viscosité attendues pour que les suspensions soient aisément coulables à un taux de cisaillement de 30 s⁻¹.

30. Discuter si le comportement rhéologique des suspensions étudiées est adapté au coulage en bande.

Après coulage, les suspensions doivent rester dans la forme désirée et surtout ne pas s'étaler sur le support. Il est possible d'évaluer ce comportement à partir des courbes rhéologiques et de leur modélisation. Les équations obtenues à partir du modèle d'Herschel-Buckley sont les suivantes :

- pour la suspension A (pectine) : $\tau_A = 1,3 + 4,4 \times \dot{\gamma}^{0,5}$
- pour la suspension B (cellulose microcristalline) : $\tau_B = 0,7 + 3,5 \times \dot{\gamma}^{0,5}$
- pour la suspension C (psyllium) : $\tau_C = 0,5 + 7,0 \times \dot{\gamma}^{0,3}$

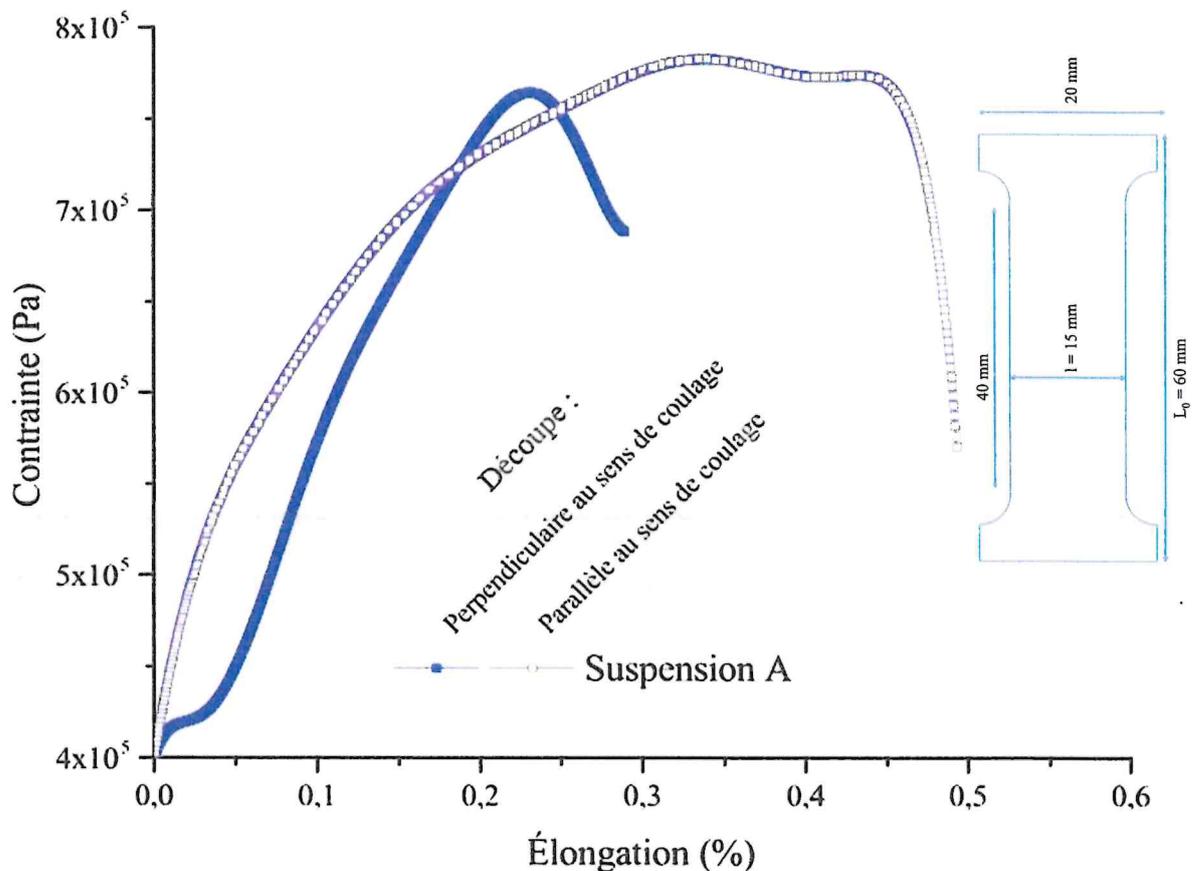
avec τ_i les contraintes, exprimées en Pa, et $\dot{\gamma}$ les taux de cisaillement, exprimés en s⁻¹.

31. En reliant les contraintes seuil données par le modèle d'Herschel-Buckley et les propriétés de thixotropie des suspensions, choisir la suspension la plus adaptée au coulage en bande.

B. Caractérisation mécanique des bandes crues

Des éprouvettes de traction mécanique sont découpées au laser dans les bandes crues obtenues avec les trois suspensions. Cette découpe a été effectuée perpendiculairement et parallèlement au sens de coulage afin d'analyser son influence sur les propriétés mécaniques des bandes crues.

L'évolution de la contrainte en fonction de l'allongement relatif, mesurée pour chacune des éprouvettes pour des bandes formées à partir de la suspension A (pectine), est représentée ci-dessous :



32. Donner les expressions de la contrainte et de l'élongation.

33. Décrire comment la direction de la contrainte influe sur la résistance mécanique et la ductilité des éprouvettes.

La contrainte maximale et l'allongement à la rupture sont ainsi déterminés pour chaque composition, parallèlement et perpendiculairement au sens de coulage. Les résultats des essais de traction sont donnés dans le tableau suivant :

	<i>Parallèle au sens de coulage</i>		<i>Perpendiculaire au sens de coulage</i>	
	Contrainte maximale (en MPa)	Élongation à la rupture (en %)	Contrainte maximale (en MPa)	Élongation à la rupture (en %)
Suspension A (pectine)	0,78 ± 0,06	0,44	0,74 ± 0,06	0,32
Suspension B (cellulose microcristalline)	0,63 ± 0,05	0,40	0,61 ± 0,05	0,27
Suspension C (psyllium)	0,15 ± 0,04	0,34	0,09 ± 0,04	0,30

34. Comparer les résultats des essais de traction des différentes suspensions.

35. Sélectionner la suspension qui confère les meilleures propriétés aux bandes en justifiant.

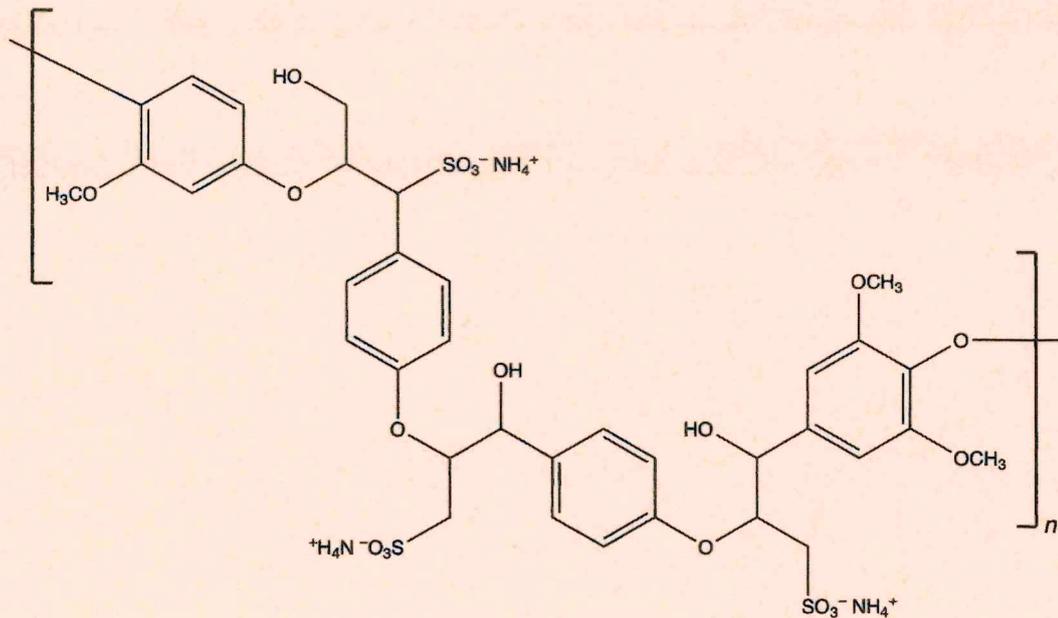
36. Suite à ces travaux, regrouper dans un tableau les additifs biosourcés qu'il est possible de sélectionner pour formuler des pâtes céramiques en phase aqueuse en indiquant leur origine et leur fonction et conclure sur l'intérêt de ces suspensions au regard de la chimie verte.

ANNEXE

Étude du lignosulfonate d'ammonium.....	1
Structure du lignosulfonate d'ammonium	1
Dispersants commerciaux - Technical Data Sheet of ammonium lignosulfonate and Darvan C-N	2
Absorbance en fonction de la longueur d'onde d'une solution de lignosulfonate d'ammonium.....	2
Fiche de spécifications de la pectine commerciale.....	3
Modèle d'Herschel et Buckley	3
Les 12 principes de la chimie verte	4

Étude du lignosulfonate d'ammonium

Structure du lignosulfonate d'ammonium

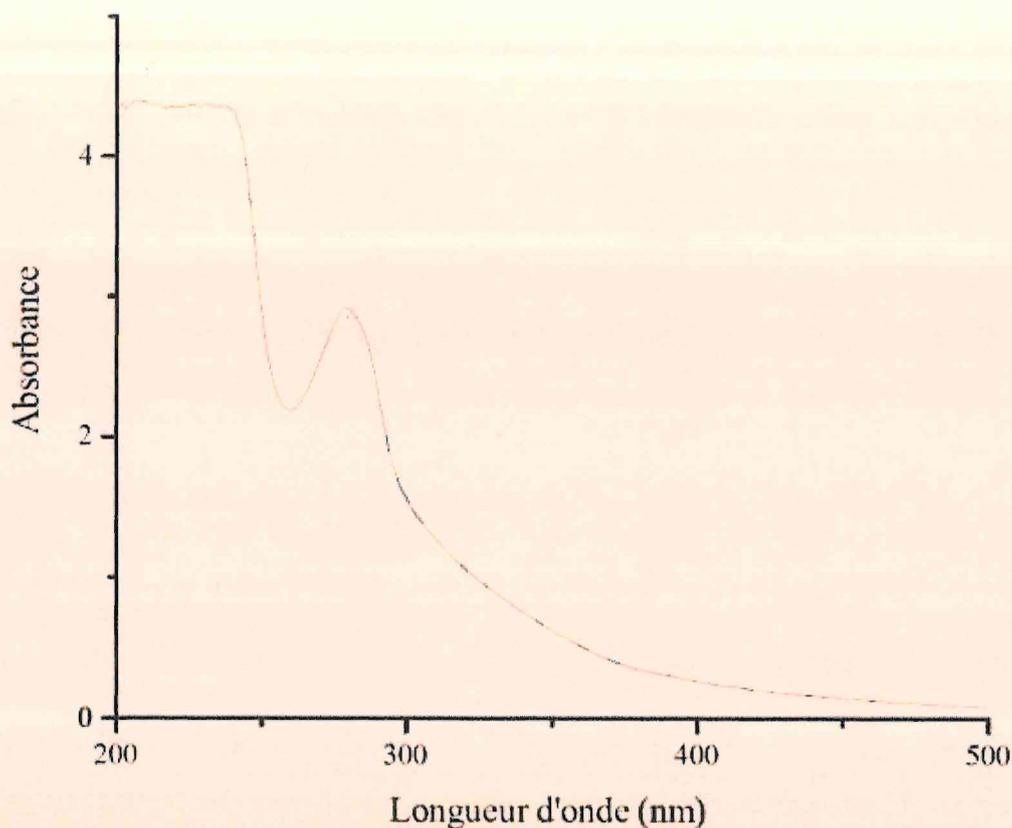


Dispersants commerciaux - Technical Data Sheet of ammonium liginosulfonate and Darvan C-N

Trade name	Ammonium liginosulfonate	Darvan C-N
Chemical classification	Liginosulfonate acid Ammonium salt	Ammonium salt of polymethacrylicacid
Physical state	Yellow brown powder	Pale straw colored liquid
% Active*	50 %	25 %
pH value (1% solution)	5 – 8	9,5 – 11,5
Specific gravity (25°C)	0,532 g/cm ³	1,11 g/cm ³
Price €/kg	2,90	49,80

*percentage by mass

Absorbance en fonction de la longueur d'onde d'une solution de liginosulfonate d'ammonium



Fiche de spécifications de la pectine commerciale

Les caractéristiques de la pectine commerciale utilisée lors des essais sont indiquées sur sa fiche de spécifications :

Specification Sheet

SIGMA-ALDRICH

Product Name	Pectin
Product Number	93854
Product Brand	SIGMA
CAS Number	9000-69-5

TEST	SPECIFICATION
APPEARANCE (COLOR)	White to Light Brown
APPEARANCE (FORM)	Powder
SPECIFIC ROTATION (20/D)	FOR INFORMATION
CONCENTRATION	C=0.1 IN WATER AT 20 C
SOLUBILITY (COLOR)	Colorless to Faint Yellow to Faint Brown
SOLUBILITY (TURBIDITY)	Clear to Very Hazy
SOLUBILITY (METHOD)	0.02G IN 10ML WATER
WATER	≤ 10 %
RESIDUE ON IGNITION	≤ 7.0 %
INFRARED SPECTRUM	CONFORMS TO STRUCTURE
MISCELLANEOUS TESTS	DEGREE OF ESTERIFICATION 50-75 %

Modèle d'Herschel et Buckley

La loi de Herschel-Buckley permet de modéliser le comportement rhéologique de suspensions composées de longues chaînes de polymères avec une contrainte seuil :

$$\tau = \tau_s + k \times \dot{\gamma}^n$$

Avec :

- τ la contrainte en Pa,
- τ_s la contrainte seuil de plasticité en Pa,
- k la consistance du fluide en Pa.sⁿ,
- $\dot{\gamma}$ le taux de cisaillement en s⁻¹,
- n l'indice d'écoulement traduisant l'écart par rapport au comportement Newtonien ($n = 1$, $n < 1$ et $n > 1$ correspondent respectivement à des comportements de type Bingham ou Newtonien, rhéofluidifiant et rhéoépaississant).

Les 12 principes de la chimie verte

