

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR MÉTIER DE LA CHIMIE

E4 PHYSIQUE-CHIMIE - SOUS-ÉPREUVE U42

ÉTUDE DE CAS PROFESSIONNELS EN FORMULATION ET ANALYSE

SESSION 2021

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 12 pages (les questions sont numérotées de 1 à 35)
- de documents et données regroupés dans une annexe (3 pages)
- de deux documents réponses **à rendre avec la copie** (2 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 2021
U42 ÉTUDE DE CAS PROFESSIONNELS EN FORMULATION ET ANALYSE	21-MH42ECA-P	Page de garde

Des algues aux empreintes dentaires

Le nom d'« alginates » est apparu en dentisterie dès 1945. Il fait référence à des polysaccharides naturels extraits de certaines algues brunes *phaeophyceae*.



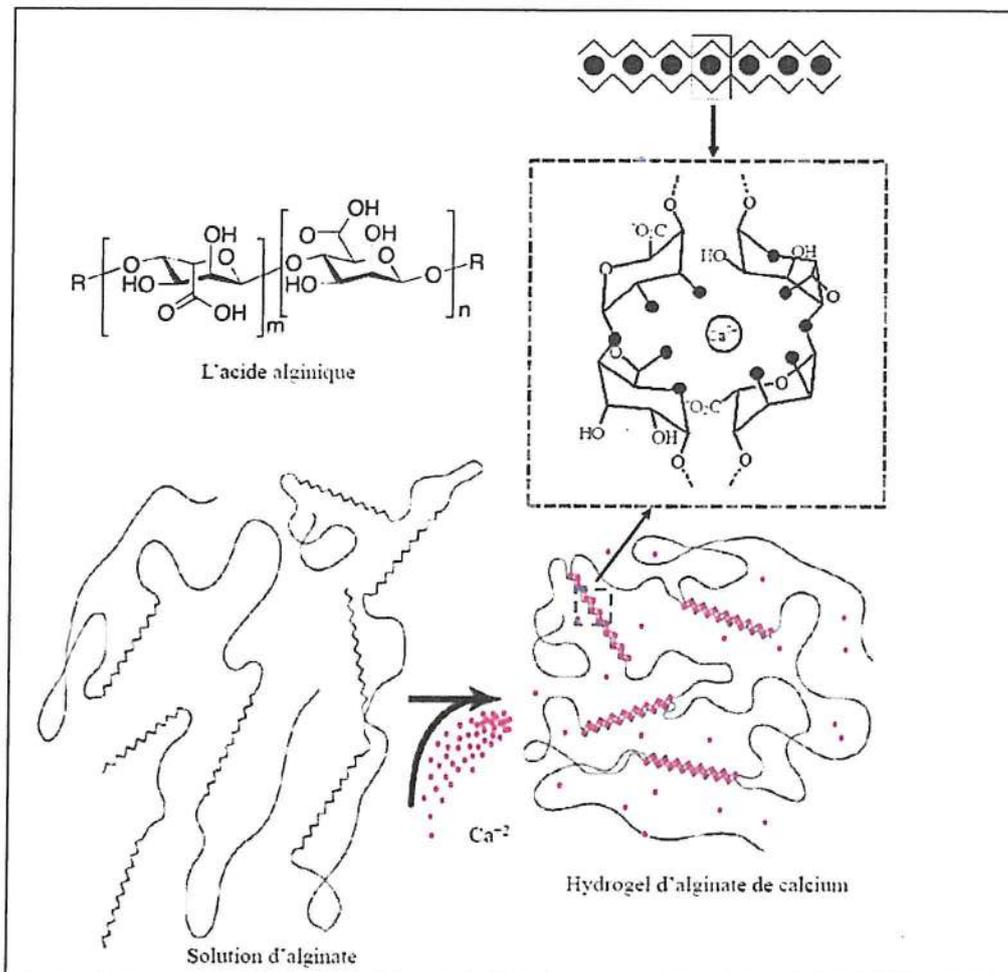
Algues brunes

Empreinte dentaire

D'après « Les matériaux d'empreintes » - Société Francophone des Biomatériaux Dentaires

L'alginate de sodium est un solide obtenu par extraction, en milieu basique, de l'acide alginique des algues.

La mise en solution de l'alginate de sodium en présence d'ions calcium permet la formation d'un hydrogel d'alginate utilisé par les dentistes pour les prises d'empreintes dentaires. De récents travaux ont permis d'expliquer la formation de l'hydrogel par le schéma représenté ci-après.



Extrait du mémoire de thèse de S. Camelo, université de Toulouse, 2015

Des charges, des accélérateurs ou retardateurs de gélification sont ajoutés à l'alginate de sodium et aux sels de calcium dans la formulation du produit commercialisé pour permettre au dentiste d'obtenir un hydrogel à l'aspect lisse et à la consistance adaptée.

L'entreprise Algae est spécialisée dans la formulation de produits à base d'alginate de sodium pour la prise d'empreintes dentaires. L'entreprise est confrontée à un retour client invoquant une prise trop rapide de la formulation commercialisée lors de la mise en solution dans le cabinet dentaire.

Le sujet propose, en quatre parties indépendantes, une démarche de réponse du laboratoire de l'entreprise à ce retour client :

- la première partie vise à analyser la formulation du lot contesté pour comprendre les causes de la prise trop rapide ;
- la deuxième partie consiste en la vérification de la teneur en ions chlorure de la formulation au regard de la réglementation ;
- la troisième partie se concentre sur l'étude mécanique des hydrogels obtenus avec la nouvelle formulation ;
- la dernière partie envisage une étude colorimétrique pour vérifier l'adaptation de la nouvelle formulation aux contraintes marketing.

Partie 1 : amélioration de la formulation du lot contesté

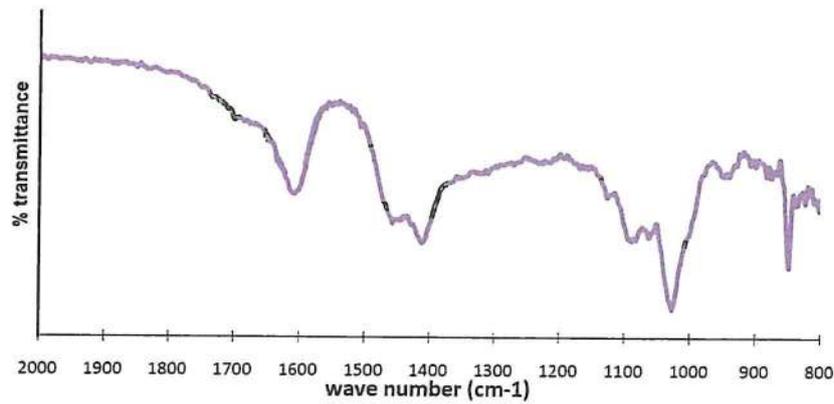
La formule Algae 180[®] mise en cause par le retour client est la suivante :

Ingrédients	Pourcentage massique	Rôle
Terre de diatomée	66 %	Charge
Alginate de sodium	14 %	Gélifiant
Sulfate de calcium dihydraté	10 %	Agent de gélification
Oxyde de zinc	4 %	Charge
Magnésium silicate	3,4 %	Charge
Potassium fluorotitanate	2 %	Stabilisateur de gel
Pyrophosphate de sodium	0,6 %	Séquestrant, contrôle la cinétique de gélification
Colorant	Traces	

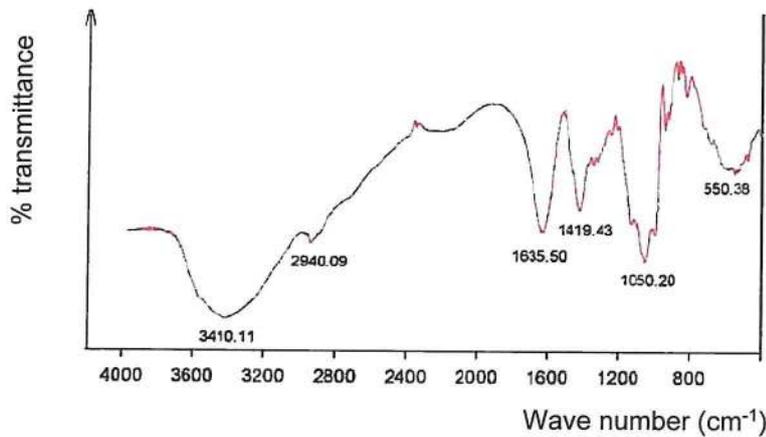
L'alginate de sodium contient naturellement des traces de calcium. Suite au retour client, le laboratoire suspecte une trop grande teneur en calcium de l'alginate de sodium utilisé pour le lot Algae 180[®] contesté.

1. À partir de la formule topologique de l'acide alginique, proposer une formule pour les ions alginate et en déduire le rôle des ions calcium dans le processus de gélification.
2. Proposer deux causes possibles à la prise trop rapide constatée.

Pour écarter une erreur de constituant, l'entreprise effectue une analyse par spectroscopie infra-rouge (IR) de l'alginate de sodium utilisé dans le lot Algae 180[®] contesté et le compare à celle de l'alginate de sodium utilisé dans la formulation d'un lot Algae 180[®] de référence.



Spectre infrarouge d'un échantillon d'alginate de sodium utilisé pour le lot ALGAE 180[®] contesté



Spectre infrarouge d'un échantillon d'alginate de sodium utilisé pour le lot ALGAE 180[®] de référence

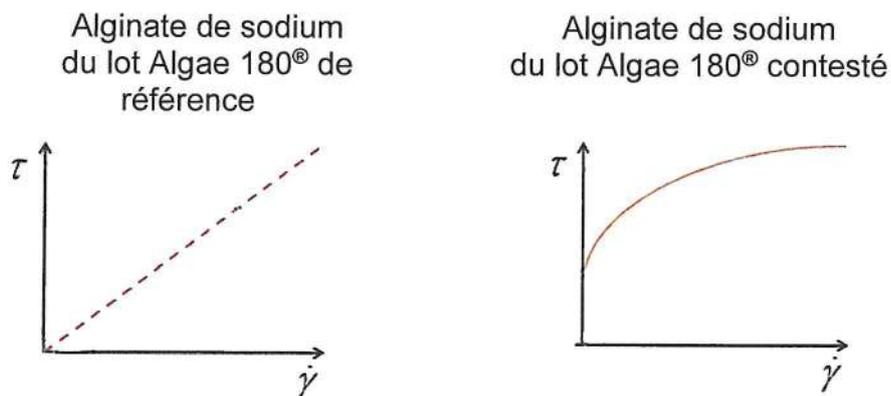
3. Identifier, sur le spectre de référence, les liaisons responsables des différentes bandes d'absorption à 3410, 1635 et 1050 cm^{-1} .

Le spectre caractéristique de l'échantillon est réalisé sur le domaine de nombre d'ondes de 2000 à 800 cm^{-1} .

4. Justifier le choix effectué de caractériser des lots d'Algae 180[®] en se concentrant sur les bandes d'absorption à 1635 et 1050 cm^{-1} sans utiliser celle à 3410 cm^{-1} .

5. Montrer que les spectres obtenus permettent d'écarter l'erreur de constituant.

Le laboratoire effectue ensuite une analyse rhéologique de solutions à 0,5 % en masse, dans de l'eau déionisée, des alginates de sodium utilisés pour les lots Algae 180[®] contesté et de référence. Les allures des rhéogrammes, représentant la contrainte τ en fonction de la vitesse de cisaillement $\dot{\gamma}$, sont données ci-dessous.



6. Nommer les comportements rhéologiques observés pour les deux solutions analysées.

7. Montrer que les rhéogrammes obtenus permettent de mettre en évidence une trop grande quantité d'ions calcium dans le lot d'Algae 180[®] contesté.

Les analyses chimiques des alginates de sodium utilisés dans les lots Algae 180[®] contestés et de référence sont réalisées en se basant sur la Pharmacopée Européenne.

Le dosage du calcium dans les alginates de sodium est réalisé par la méthode des ajouts dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique à 422,7 nm avec une flamme air-acétylène et une lampe à cathode creuse au calcium.

L'alginate de sodium utilisé pour le lot Algae 180[®] de référence sert à valider la méthode avant d'analyser les échantillons inconnus.

La préparation de la gamme se fait par le protocole suivant.

- Préparer la solution à doser S en dissolvant, dans une fiole jaugée de 100 mL, 0,2 g d'alginate de sodium de référence à analyser précisément dans 50 mL d'une solution d'ammoniaque diluée et compléter à l'eau déionisée ;
- préparer une solution E à 100 ppm (ou mg.L⁻¹) d'ions calcium ;
- préparer la gamme suivante dans des fioles jaugées de 100 mL :

Fiole	1	2	3	4	5
Volume de solution à doser S (en mL)	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Volume de solution E (en μ L)	0	750	1000	1250	1500
Eau déionisée	Qsp 100 mL				

- le zéro de l'appareil est réalisé sur la solution d'ammoniac très diluée.

8. Proposer un protocole permettant de préparer 500 mL de solution E par pesée de nitrate de calcium $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

9. Déterminer la concentration en masse ρ_{E4} d'ions calcium apportés par la solution E dans la fiole 4.

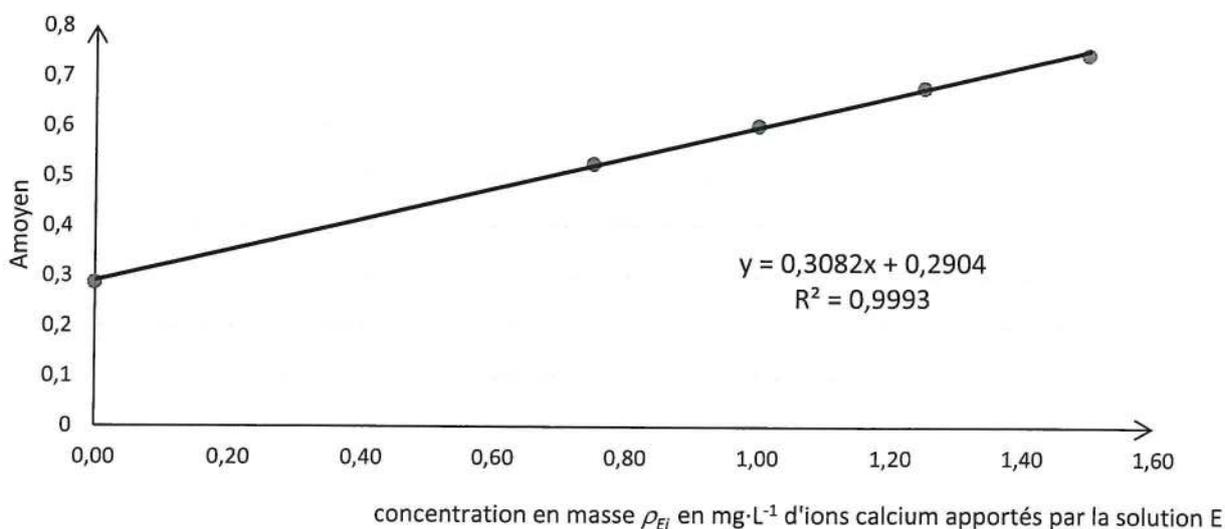
Le laboratoire réalise le dosage sur une masse $m = 0,1706$ g d'alginate de sodium utilisé pour le lot Algae 180® de référence.

Les valeurs moyennes des absorbances lors de cinq mesures successives à 422,7 nm pour chaque fiole de la gamme sont les suivantes.

Fiole	1	2	3	4	5
A_{moyen}	0,287	0,525	0,602	0,679	0,746

La modélisation affine de l'évolution de l'absorbance A_{moyen} en fonction de la concentration en masse (ρ_{Ei}) apportée par la solution E dans la fiole i est réalisée.

Dosage du calcium dans l'alginate de sodium utilisé pour le lot Algae 180 de référence



La concentration massique en ions calcium ρ_{Ca} dans la solution à doser S peut alors être déterminée par :

$$\rho_{Ca} = \frac{100}{3} \times \frac{b}{a}$$

a : coefficient directeur de la courbe $A_{moyen} = f(\rho_{Ei})$

b : ordonnée à l'origine de la courbe $A_{moyen} = f(\rho_{Ei})$

Les spécifications de la Pharmacopée Européenne pour l'alginate de sodium sont les suivantes.

Calcium (Atomic absorption spectrometry)

Standard additions / Validation of the method

Linearity : Prepare and analyse not fewer than 4 reference solutions over the calibration range and a blank solution. Perform not fewer than 5 replicates.

The operating method is valid when :

- the correlation coefficient is at least 0.99.
- the residuals of each calibration level are randomly¹ distributed around the calibration curve.

10. Vérifier la validité du modèle obtenu pour le dosage des ions calcium dans l'alginate de sodium selon les spécifications de la Pharmacopée Européenne.

11. Calculer la concentration massique $\rho_{Ca,Ref}$ en ions calcium dans l'alginate de sodium utilisé pour le lot Algae 180® de référence.

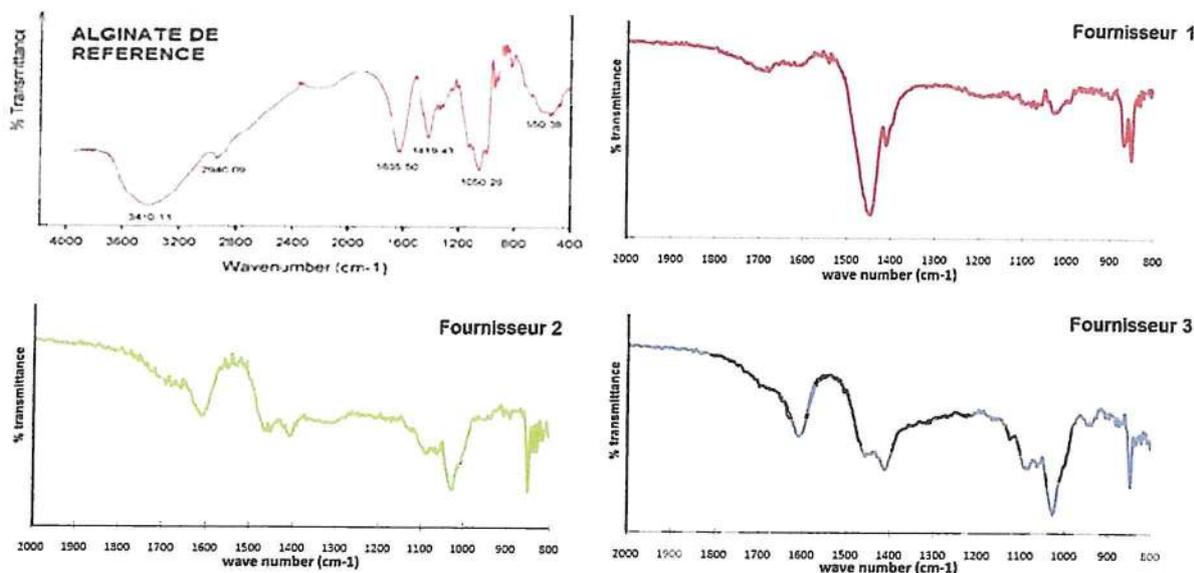
12. En déduire le pourcentage massique $P_{Ca,Ref}$ en ions calcium dans l'alginate de sodium utilisé pour le lot Algae 180® de référence.

La même méthode pour l'échantillon d'alginate de sodium utilisé pour le lot Algae 180® contesté conduit à un pourcentage massique de $P_{Ca,Algae\ 180} = 4,9\%$ en calcium.

13. Conclure.

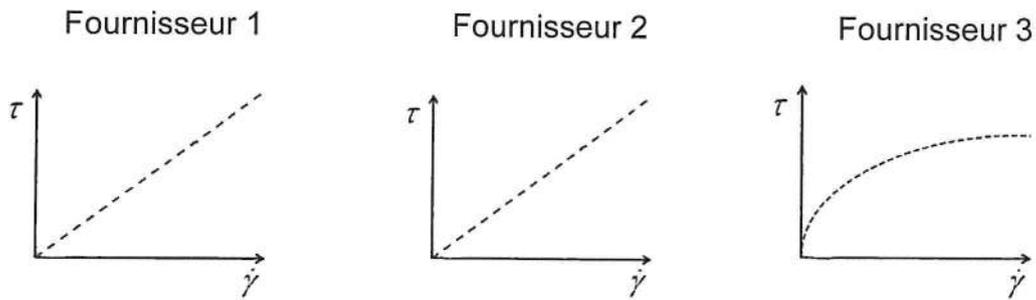
L'entreprise envisage le changement de fournisseur d'alginate de sodium dans la formule Algae 180®. Des analyses par spectroscopie infra-rouge et rhéologiques des échantillons de trois fournisseurs différents sont effectuées au laboratoire. Les résultats sont regroupés ci-dessous.

Spectres infra-rouge obtenus :



¹ randomly : au hasard

Allure des rhéogrammes obtenus :



14. Proposer un alginate de remplacement parmi les échantillons reçus des fournisseurs. Argumenter le choix.

Partie 2 : contrôle du pourcentage massique des ions chlorure dans l'alginate de sodium

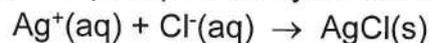
Pour la commercialisation de l'alginate de sodium, la Pharmacopée Européenne impose une teneur massique maximale en ions chlorure d'1 %. Le laboratoire de l'entreprise Algae contrôle la teneur en ions chlorure d'un lot d'alginate de sodium reçu du fournisseur choisi.

Le contrôle est effectué selon la méthode de Charpentier-Volhard. Cette méthode de dosage indirect est effectuée en mettant en œuvre le protocole retenu suivant.

Précipitation du chlorure d'argent :

- peser précisément environ $m = 2,5$ g d'alginate de sodium à contrôler ;
- les dissoudre dans 50 mL d'acide nitrique dilué, agiter 1 h ;
- ajuster à $V_D = 100$ mL avec de l'acide nitrique dilué ;
- filtrer ;
- prélever $V_P = 50$ mL de filtrat ;
- ajouter $V_a = 10$ mL de solution de nitrate d'argent de concentration connue $C_a = 0,100 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

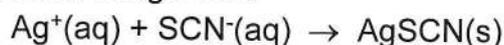
L'équation de la réaction modélisant la précipitation ayant lieu à ce stade dans le bécher est :



Titration des ions argent en excès :

- chauffer jusqu'au voisinage de l'ébullition en remuant de temps en temps afin d'agglomérer le précipité formé ;
- titrer les ions argent en excès par une solution aqueuse de thiocyanate d'ammonium ($\text{NH}_4^+(\text{aq}), \text{SCN}^-(\text{aq})$) de concentration $C_s = 0,100 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ en présence de 2 mL d'une solution aqueuse d'alun ferrique ($\text{Fe}^{3+}(\text{aq}), \text{NH}_4^+(\text{aq}), 2 \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$).

L'équation de la réaction support du titrage est :



À l'équivalence, le milieu se colore en rouge par la formation du complexe $[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}$. Le volume V_e de solution de thiocyanate versé à l'équivalence est relevé.

15. À partir des extraits de Fiches de Données de Sécurité, préciser les précautions à prendre lors de la manipulation et de l'élimination des déchets pour le protocole retenu.

Un autre protocole provenant du recueil de normes de la Pharmacopée Européenne est proposé pour titrer les ions chlorure dans l'alginate de sodium :

To 2.50 g of sodium alginate add 50 mL of dilute nitric acid R, shake for 1 h and dilute to 100.0 mL with dilute nitric acid R. Filter. To 50.0 mL of the filtrate add 10.0 mL of 0.1 M silver nitrate and 5 mL of toluene R. Titrate with 0.1 M ammonium thiocyanate, using 2 mL of ferric ammonium sulfate solution R2 as indicator and shaking vigorously towards the end point.

16. Comparer le protocole retenu à celui de la Pharmacopée Européenne ci-dessus et justifier le changement effectué.

Le pourcentage massique en chlorure dans l'alginate se calcule par la relation suivante (avec les volumes V_a et V_e exprimées en mL et la masse m en g) :

$$T_{Cl}(\%) = \frac{V_a - V_e}{m} \times 0,709$$

17. Retrouver la relation permettant de déterminer la teneur en chlorure dans l'alginate de sodium. *La structuration de l'argumentation, la rigueur des calculs ainsi que toute initiative prise dans la démarche, même inachevée, pour répondre à cette question sera valorisée.*

Pour une pesée d'une masse $m = 2,468$ g d'alginate de sodium à contrôler le volume versé à l'équivalence est $V_e = 7,53$ mL.

18. Calculer le pourcentage massique en chlorure T_{Cl} dans l'alginate de sodium contrôlé avant usage. Conclure quant à la conformité de l'alginate de sodium par rapport aux spécifications de la Pharmacopée Européenne.

Partie 3 : évaluation mécanique d'une nouvelle formulation

L'origine naturelle, la très faible toxicité et le prix sont des avantages pour la commercialisation de lots contenant des alginates de sodium directement extraits des algues. Cependant, des fragilités lors du retrait de l'empreinte peuvent se produire et le laboratoire effectue des contrôles systématiques des propriétés mécaniques des lots commercialisés.

Les tests mécaniques sont réalisés sur le matériau, formule ALGAE 180® après la durée de prise préconisée, afin de connaître le comportement du porte-empreinte lors du retrait de la bouche du patient.

Dans un premier temps, des tests sur le déchirement sont menés sur le lot commercialisé en adaptant la norme NF EN ISO 21563 afin de comparer sa résistance au déchirement T_s à celles de matériaux similaires synthétiques données ci-dessous.

Matériaux	Polysulfures	Polyvinylsiloxanes	Polyéthers
T_s (en N·mm ⁻¹)	2,4 à 7,4	1,6 à 5,3	1,7 à 4,8

D'après la partie 7.7 de la norme NF EN ISO 21563, la résistance au déchirement est calculée en $N \cdot mm^{-1}$ par la relation

$$T_s = \frac{F_{max}}{e}$$

Avec

F_{max} est la force maximale appliquée pour provoquer la rupture de l'éprouvette ;
 e est l'épaisseur de l'éprouvette.

Cinq tests sont réalisés sur des éprouvettes de 5 mm d'épaisseur sur un banc de traction.

La valeur de la résistance retenue est la moyenne $\overline{T_s}$ exprimée sous forme d'un intervalle :

$$T_s = \overline{T_s} \pm U(T_s)$$

$U(T_s)$ étant l'incertitude élargie selon Student pour n mesurages indépendants avec un taux de confiance de 95%.

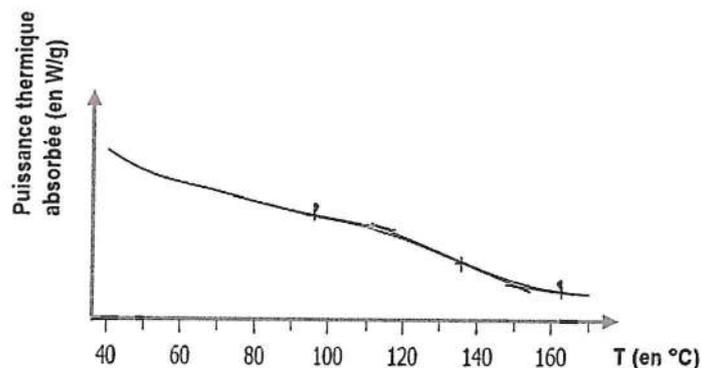
Les résultats de cinq essais de traction sur les éprouvettes d'une empreinte d'alginate de sodium sont rassemblés dans le tableau ci-dessous.

Essai	1	2	3	4	5
T_s (en $N \cdot mm^{-1}$)	0,575	0,555	0,545	0,583	0,585

19. En déduire la valeur moyenne de la résistance au déchirement de l'empreinte à base d'alginate de sodium avec son intervalle d'incertitude selon la norme adaptée.

20. Comparer cette valeur à celles des matériaux synthétiques et confronter avec le défaut signalé.

Le laboratoire décide de développer une nouvelle gamme de produits à partir d'un mélange de biopolymères alginate/chitosane dans les proportions massiques 50/50 (w/w), le chitosane étant extrait de carapaces de crustacés. Une analyse thermique est effectuée pour vérifier la miscibilité des biopolymères.



Extrait de mémoire de thèse de S. Camelo, université de Toulouse, 2015

21. Justifier que la courbe d'analyse thermique confirme la miscibilité des deux biopolymères.

La température de transition vitreuse d'un mélange homogène peut être calculée par la loi de Gordon – Taylor,

$$T_g = \frac{w_1 T_{g1} + K w_2 T_{g2}}{(w_1 + K w_2)}$$

dans laquelle :

- T_g est la température de transition vitreuse du mélange, exprimée en K ;
- w_1 et w_2 sont les pourcentages massiques respectifs en alginate et en chitosane ;
- $K = 1,5$ pour le couple chitosane-alginate ;
- T_{g1} et T_{g2} sont les températures de transition vitreuse respectives de l'alginate pur et du chitosane pour exprimées en K : T_{g1} alginate = 338 K, T_{g2} chitosane = 463 K.

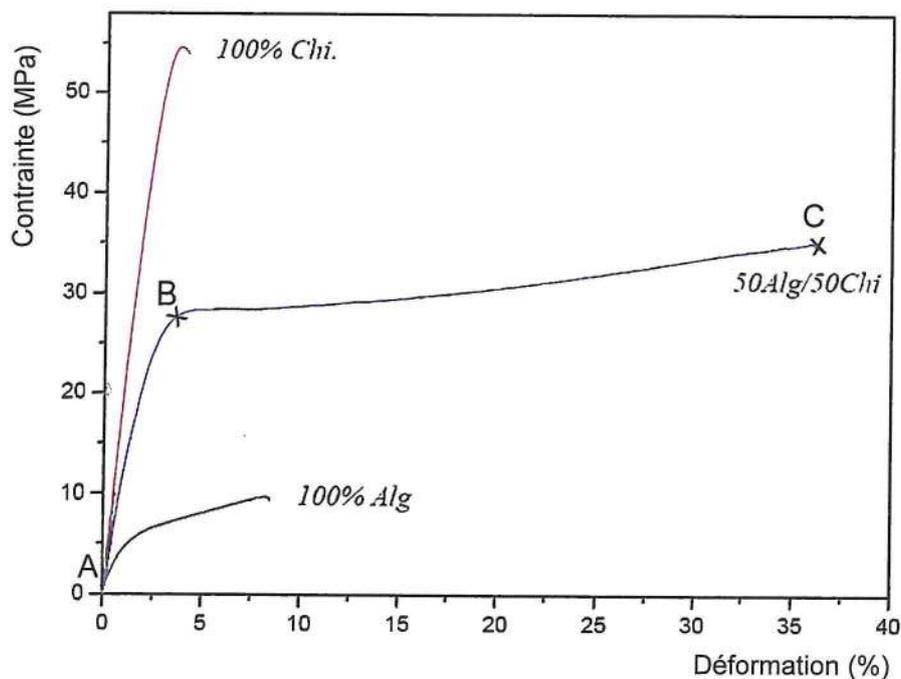
22. Déterminer la valeur de la température de transition vitreuse du mélange d'après la loi proposée.

23. Comparer cette valeur théorique obtenue avec la courbe d'analyse thermique et conclure quant à la résistance au déchirement.

Après des tests de déchirement encourageants avec le mélange réalisé, celui-ci est soumis à des tests de traction sur un autre type d'éprouvette afin d'étudier ses propriétés d'élasticité et de plasticité avant déchirement.

Afin de ne pas avoir de rétractation ou dilatation des empreintes après retrait, le laboratoire doit présenter un domaine plastique pour des contraintes d'environ 10 MPa, exercées lors de la prise d'empreinte.

La réalisation des tests de traction avec un mélange alginate-chitosane donne le résultat suivant :



24. Préciser à quels domaines correspondent les parties AB et BC de la courbe contrainte déformation obtenue avec un mélange alginate/chitosane dans les proportions massiques 50/50 (50Alg/50Chi).

25. Calculer le module d'Young du mélange alginate-chitosane utilisé.
26. Le comparer à celui de l'alginate seul (340 MPa). En déduire la modification de comportement engendrée par l'introduction du chitosane dans la formule.
27. Justifier cependant pourquoi une proportion de 50% de chitosane est trop grande au regard du cahier des charges.

Suite à ces résultats, l'entreprise désire optimiser la formule Algae 180® en réalisant un plan de mélange en faisant varier les pourcentages de sulfate de calcium dihydraté, d'alginate et de chitosane.

Le plan de mélange est restreint au domaine triangulaire ABC du diagramme ternaire fourni sur le document-réponse **document réponse 1 à rendre avec la copie**.

Les meilleurs résultats des tests mécaniques sont obtenus pour un mélange correspondant au point M placé sur le diagramme ternaire.

28. Déterminer les coordonnées du point M sur le **document réponse 1 à rendre avec la copie**.

Partie 4 : contraintes de teinte et de coût de la nouvelle formule.

Le service marketing désire que l'emballage et l'étiquette soient de couleur cohérente avec la poudre alginate fabriquée selon la nouvelle formule.

Le cahier des charges stipule :

- un écart colorimétrique raisonnable entre la couleur de l'emballage (jaune) et celle de la poudre d'alginate teintée avec un colorant alimentaire : $\Delta E^* < 5$;
- un surcoût ne devant pas dépasser 30 % compte tenu des prix ci-dessous contractés avec les différents fournisseurs.

Ingrédients	Fraction massique (en %)	Prix
Terre de diatomée	66	450 € / tonne
Alginate de sodium	à déterminer	15 € / kilogramme
Chitosane	à déterminer	71,5 € / kilogramme
Sulfate de calcium dihydraté	10	550 € / tonne
Oxyde de zinc	4	1850 € / tonne
Magnésium silicate	3,4	2500 € / tonne
Potassium fluorotitanate	2	1295 € / tonne
Pyrophosphate de sodium	0,6	1,65 € / kilogramme
Colorant alimentaire	0,01	150 € / kilogramme
Arôme vanille	Traces	négligeable

Des mesures colorimétriques de l'emballage avec le spectrocolorimètre de l'entreprise ont été réalisées sous illuminant D65 :

	X	Y	Z	L*	a*	b*
Emballage	46,99	47,03	14,01	74,21	3,71	54,56

29. Préciser ce que représente « l'illuminant D65 ».

30. Déterminer les valeurs des coordonnées de chromaticité x , y .

31. Positionner précisément la couleur de l'emballage sur le **document réponse 2 à rendre avec la copie**.

Les coordonnées de l'illuminant D65 sont : (0,3127 ; 0,3290).

32. Déterminer, à l'aide **document réponse 2 à rendre avec la copie**, la teinte et la saturation de la couleur de l'emballage.

Les résultats des mesures colorimétriques sur la poudre alginate teintée sont les suivants :

	Colorimétrie		
	L*	a*	b*
Couleur de l'emballage	74,21	3,71	54,56
Couleur de la poudre d'alginate	77,31	3,81	53,29

33. Déterminer si la teinte de la poudre alginate est conforme au cahier des charges.

34. Le prix de 100 kg d'ALGAE 180[®] était de 266 €. Calculer le surcoût relatif (en %) de la substitution des 14 % d'alginate par 14 % d'un mélange alginate-chitosane dans les proportions massiques 85/15.

35. Déterminer le taux maximal de chitosane acceptable pour que la nouvelle formule respecte le cahier des charges du service marketing.

ANNEXES

ANNEXE 1 : masses molaires	1
ANNEXE 2 : incertitude élargie selon Student.....	1
ANNEXE 3 : extrait de Fiches de Données de Sécurité	2
Toluène.....	2
Nitrate d'argent 0,1 mol/L.....	2
Thiocyanate d'ammonium 0,1 mol/L.....	2
Acide nitrique dilué	2
ANNEXE 4 : table d'analyse infrarouge	3

ANNEXE 1 : masses molaires

Masses molaires : $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$: $164,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; Ca : $40,10 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; Cl : $35,45 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

ANNEXE 2 : incertitude élargie selon Student

Pour n mesurages indépendants effectués sur la grandeur X.

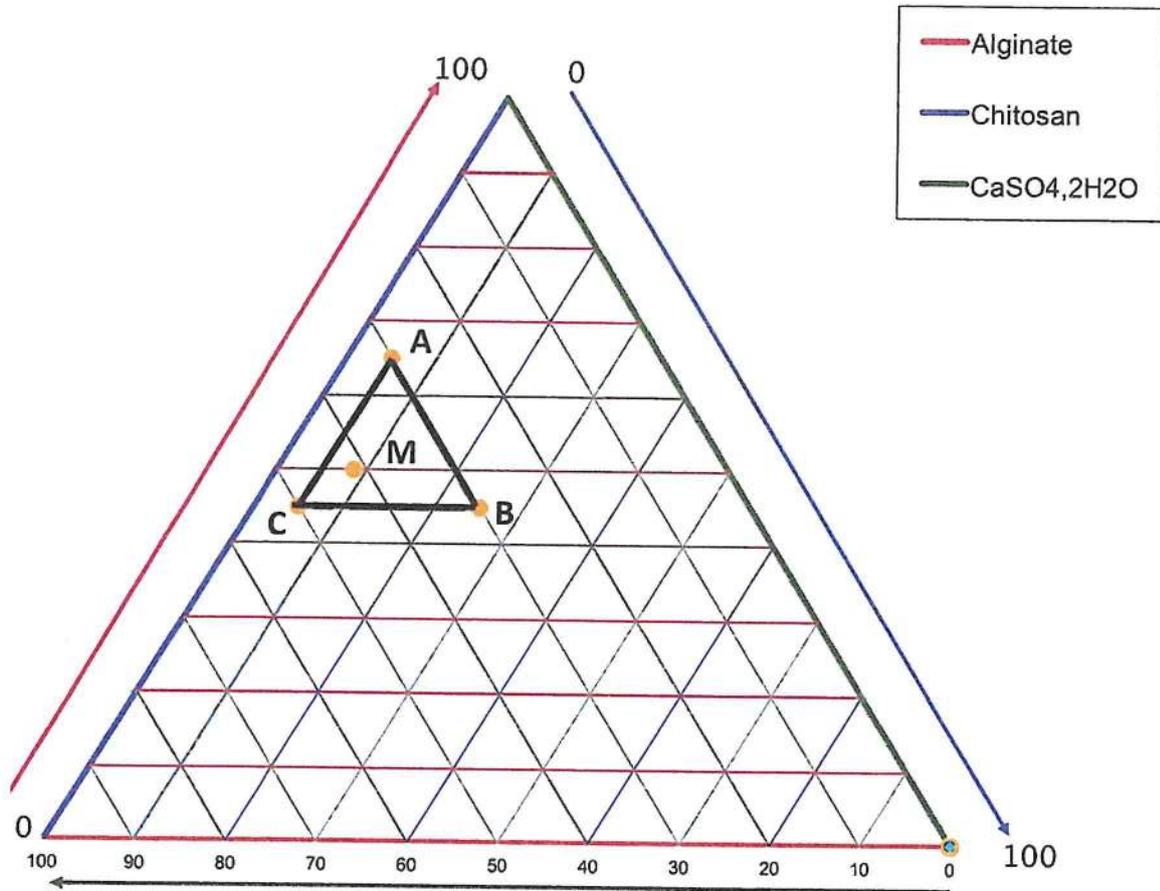
$$U(x) = t \frac{s}{\sqrt{n}}$$
 s, l'écart-type
 t, facteur d'élargissement, lu dans la table ci-dessous en fonction du nombre de mesures réalisées, n, pour un taux de confiance α donné.
 $v = \text{nombre de degrés de liberté} = \text{nombre de mesures} - 1 = n - 1$

$v \downarrow$	$\alpha \rightarrow$	90	95	98	99	99,9
3		2,35	3,18	4,54	5,84	12,92
4		2,13	2,78	3,75	4,60	8,61
5		2,02	2,57	3,36	4,03	6,87

ANNEXE 4 : table d'analyse infrarouge

Liaison	Composés	Type de vibrations	Nombre d'onde (cm ⁻¹)	
O-H	Alcool libre	valence	3590-3650	fine
O-H	Alcool lié	valence	3200-3600	large
N-H	Amine primaire	valence	3300-3500	2 bandes
N-H	Amine secondaire	valence	3300-3500	1 bande
N-H	Amide	valence	3100-3500	
C _{di} -H	alcyne	valence	≈ 3300	
C _{tri} -H	alcène	valence	3030-3100	
C _{tri} -H	aromatique	valence	3000-3100	
C _{tet} -H	alcane	valence	2850-3000	
C _{tri} -H	aldéhyde	valence	2700-2900	2 bandes
O-H	Acide carboxylique	valence	2500-3200	large
C≡C	alcyne	valence	2100-2260	
C _{tri} =O	Aldéhyde et cétone	valence	1650-1730 abaissement de 20 à 320 cm ⁻¹ si conjugaison	
C _{tri} =O	Acide carboxylique	valence	1700-1725	
C _{tri} =O	ester	valence	1735-1750	
C _{tri} =O	Carboxylate (sel d'acide -COO ⁻)	Valence	1615-1650	
C _{tri} =O	amide	valence	1630-1700	
C _{tri} =C _{tri}	alcène	valence	1620-1690	
C _{tri} =C _{tri}	aromatique	valence	1450-1600	3 ou 4 bandes
N-H	amine	déformation	1560-1640	
NO ₂	Groupe nitro	valence	1540-1570 et 1340-1390	2 bandes
C _{tet} -H	alcane	déformation	1430-1480	
C _{tet} -H (CH ₃)	alcane	déformation	1370-1390	2 bandes
C _{tet} -O	alcool	valence	1010-1200	
C _{tet} -O- C _{tet}	étheroxyde	Valence	1070-1150	
C _{tet} -O- C _{tet}	anhydride	Valence	1050-1300	1 ou 2 bandes
C _{tet} -N	amine	valence	1020-1250	
C _{tri} -H de -HC=CH (E) (Z)	alcène	Déformation déformation	960-970 670-730	
C _{tri} -H	Aromatique monosubstitué	Déformation	730-770 et 680-720	2 bandes
C _{tri} -H	Aromatique 1,2-disubstitué 1,3-disubstitué 1,3-disubstitué	Déformation Déformation Déformation	735-770 750-800 et 680-720 800-860	2 bandes

DOCUMENT REPONSE 1 (à rendre avec la copie)



DOCUMENT REPONSE 2 (à rendre avec la copie)

Diagramme de chromaticité CIE 1931

