



Séquence n°2

FORMULATION D'UNE SUSPENSION ANTIACIDE A BASE D'ALGINATE DE SODIUM

La formulation est l'activité de l'industrie chimique consistant à fabriquer des mélanges stables, homogènes à l'échelle macroscopique (prenons par exemple le cas de la formulation de la mayonnaise industrielle) et possédants des propriétés finales définies dans un cahier des charges. Pour réaliser ces exigences, le formulateur mélange différentes matières premières souvent incompatibles entre elles (l'eau/vinaigre et l'huile dans le cas de la mayonnaise). La formulation doit donc surmonter ces incompatibilités en ajoutant des matières premières appelées additifs (lécithine de l'œuf ou émulsifiant de synthèse dans le cas de la mayonnaise). Alors que la chimie traite de réactions chimiques entre substances (on parle alors de synthèse), la formulation traite de la coexistence de substances sans réactions chimiques*.

* il existe parfois des cas où le mélange se fait avec réaction chimique

Les alginates de sodium sont utilisés en formulation pour fabriquer des gels (la gélification de l'alginate de sodium est obtenue par la présence d'ions calcium). On rencontre ces types de gels dans de nombreux produits comme les masques de beauté peel-off, les matériaux d'empreinte dentaire et lors de l'ingestion de certaines suspensions médicamenteuses antiacides.



Masque de beauté peel-off



Matériau d'empreinte dentaire



Suspension médicamenteuse

Cette séquence se concentrera sur la formulation des suspensions antiacides :

- ✓ Dans une première partie, nous allons établir la composition massique d'une formule de suspension antiacide utilisant l'alginate de sodium (type Gaviscon®) en effectuant des mesures de masses volumiques.
- ✓ Dans une deuxième partie, nous allons mettre en évidence le rôle des différents ingrédients de la formulation de la première partie. Le phénomène de gélification de l'alginate de sodium en présence d'ions calcium sera mis en évidence par la réalisation de billes de gel d'alginate de calcium colorées. Ces billes serviront aussi à mettre en évidence le phénomène physique de diffusion. Enfin, on étudiera le phénomène de sédimentation
- ✓ Dans une troisième et dernière partie, nous allons réaliser la formule d'une suspension antiacide et mettre en évidence son effet antiacide.



Suspension antiacide Gaviscon®

PARTIE 1 : ETABLIR LA FORMULE DE L'ANTIACIDE

ACTIVITE 1. Réalisation d'un pycnomètre. Etude de sa fiabilité.

- **Objectif** : réaliser un pycnomètre
- **Matériel** : récipient en verre (pot de yaourt...) muni d'un couvercle rigide percé d'un trou au centre, Gaviscon® commercial, pycnomètre de laboratoire
- **Ressources disponibles** : documents 1 et 2 de cette séquence
- **Explicitation des consignes, des attentes ; tâches possibles** : La masse volumique (ou la densité) d'un produit formulé est une grandeur très souvent mesurée dans l'industrie de formulation. Les laboratoires utilisent le plus souvent un densimètre électronique ou un pycnomètre métallique (voir document 1). On se propose ici de



Seconde – Sciences et laboratoire Séquence n°2 : formulation d'une suspension antiacide à base d'alginate de sodium
fabriquer son propre pycnomètre (un pycnomètre est un matériel moins cher qu'un densimètre électronique mais dont le coût se chiffre tout de même en centaines d'euros). Il sera ensuite utilisé dans les activités.

Document 1 : Principe d'un pycnomètre ?



Exemple de pycnomètre de laboratoire



Remplissage d'un pycnomètre

Un pycnomètre est un instrument permettant la mesure de la densité et de la masse volumique d'un produit.

C'est un récipient (en verre ou en métal) de volume V normalisé et connu. Lorsque l'on ajuste le bouchon/couvercle sur le récipient, le « trop-plein » de liquide s'échappe par l'orifice du bouchon/couvercle.

En mesurant la masse du pycnomètre rempli du produit dont on veut connaître la masse volumique puis la masse du pycnomètre vide, on en déduit la masse de produit contenu dans le volume V du pycnomètre. Il est ensuite facile de déterminer la masse volumique (ou la densité) recherchée.

DOCUMENT 2 : Réalisation d'un pycnomètre au laboratoire du lycée

Le pycnomètre est réalisé ici à partir d'un pot de yaourt en verre. Comme on ne connaît pas le volume de ce pycnomètre, on propose d'effectuer deux mesures (c'est cette méthode qui est souvent utilisée en entreprise et non la recherche du volume du pycnomètre) :

- l'une avec l'échantillon,
- et l'autre avec de l'eau.

On montre alors facilement que la masse volumique de l'échantillon à la température T du laboratoire est donnée par la formule :

$$\rho_{\text{échantillon}}^T = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times \rho_{\text{eau}}^T$$

- ✓ $\rho_{\text{échantillon}}^T$ est la masse volumique de l'échantillon à la température T du laboratoire
- ✓ ρ_{eau}^T est la masse volumique de l'eau à la température T du laboratoire (voir le document 3)
- ✓ m_0 est la masse du pycnomètre vide (avec couvercle !) en g
- ✓ m_1 est la masse du pycnomètre rempli d'eau en g
- ✓ m_2 est la masse du pycnomètre rempli d'échantillon en g

**DOCUMENT 3 : masse volumique de l'eau en fonction de la température (valeurs en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)**

T(°C)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
15	999,0977	999,0826	999,0673	999,0519	999,0364	999,0208	999,0051	998,9892	998,9733	998,9572
16	999,9410	998,9247	998,9083	998,8917	998,8751	999,8553	999,8414	999,8244	998,8073	999,7901
17	998,7728	998,7553	998,7378	998,7201	998,7023	999,6545	998,6665	998,6483	998,6301	999,6118
18	998,5934	998,5748	999,5562	999,5374	998,5185	999,4995	999,4804	999,4612	998,4419	998,4225
19	998,4030	998,3833	998,3636	998,3435	998,3238	998,3037	998,2836	998,2633	998,2429	998,2224
20	998,2019	998,1812	998,1604	998,1395	998,1185	998,0973	998,0761	998,0548	998,0334	998,0119
21	997,9902	997,9685	997,9467	997,9247	997,9027	997,8805	997,8583	997,8360	997,8135	997,7910
22	997,7683	997,7456	997,7227	997,6998	997,6767	997,6536	997,6303	997,6070	997,5838	997,5600
23	997,5363	997,5126	997,4887	997,4648	997,4408	997,4166	997,3924	997,3680	997,3436	997,3191
24	997,2944	997,2697	997,2449	997,2200	997,1950	997,1699	997,1446	997,1193	997,0939	997,0685
25	997,0329	997,0172	996,9914	996,9655	996,9396	996,9135	996,8873	996,8611	996,8347	996,8083
26	996,7818	996,7551	996,7284	996,7016	996,6747	996,6477	996,6206	996,5935	996,5661	996,5388
27	996,5113	996,4837	996,4561	996,4284	996,4003	996,3726	996,3446	996,3165	996,2883	996,2600
28	996,2316	996,2032	996,1746	996,1460	996,1172	996,0884	996,0595	996,0305	996,0014	995,9722
29	995,9430	995,9136	995,8842	995,8546	995,8250	995,7953	995,7655	995,7356	995,7056	995,6756
30	995,6465	995,6152	995,5848	995,5544	995,5239	995,4934	995,4627	995,4319	995,4011	995,3701

DOCUMENT 4 : incertitude type de la valeur moyenne de masse volumique

Lorsque l'on réalise plusieurs fois la mesure d'une même grandeur en physique chimie, on obtient une série de données caractérisée par sa valeur moyenne et son écart type.

La moyenne, notée ρ_{moyen} est un indicateur de position, c'est le meilleur estimateur de la valeur de la grandeur recherchée.

L'écart type de la série de données, notée s , est un indicateur de dispersion, il traduit la répartition des valeurs mesurées représentée par un histogramme.

Le résultat de la mesure s'exprime à l'aide de la valeur moyenne ρ_{moyen} associée à son incertitude type notée $u(\rho_{\text{moyen}})$.

L'incertitude type de la valeur moyenne est également un indicateur de dispersion, il se détermine grâce à la formule suivante : $u(\rho_{\text{moyen}}) = \frac{s}{\sqrt{N}}$ N étant le nombre de valeurs de la série de données.

Pour évaluer la fiabilité du pycnomètre, il faut comparer la valeur moyenne obtenue avec le pycnomètre avec la valeur de référence.



L'écart entre valeur moyenne et valeur de référence est très grand devant l'incertitude type :
le pycnomètre manque de fiabilité



L'écart entre valeur moyenne et valeur de référence est inférieure à l'incertitude type :
le pycnomètre est fiable

Travail à réaliser

Pour vérifier la fiabilité de ce pycnomètre, on souhaite comparer la masse volumique d'un échantillon dont on connaît la (ce sera la valeur de référence) avec la valeur obtenue expérimentalement avec le pycnomètre fabriqué.



1. A l'aide du document 1, exprimer la masse volumique de l'eau en fonction de la masse m_1 du pycnomètre rempli d'eau, de la masse à vide du pycnomètre m_0 et du volume V du pycnomètre.
2. Exprimer de la même manière la masse volumique d'un échantillon en fonction de la masse m_2 du pycnomètre rempli de cet échantillon, de la masse à vide du pycnomètre m_0 et du volume V du pycnomètre.
3. A l'aide des deux expressions précédentes, retrouver la formule du document 2 et montrer qu'il n'est pas nécessaire de connaître la valeur du volume du pycnomètre « pot de yaourt ».

En déduire un protocole, qui utilise la formule du document 2, pour déterminer la masse volumique d'un échantillon.
4. Pour déterminer la masse volumique de l'échantillon (ici le Gaviscon®) avec le pycnomètre, on propose de réaliser une série de 10 mesures.

Réaliser le protocole validé en classe et noter les 10 valeurs de masse volumique de Gaviscon®.
5. Réaliser un histogramme de la série des valeurs de masse volumiques obtenues précédemment. Quel est selon vous le meilleur estimateur de la masse volumique ? Justifier à l'aide de l'histogramme.
6. Calculer l'incertitude type de la valeur moyenne de la masse volumique du Gaviscon®. A l'aide du document 4, expliquer quel est l'intérêt de réaliser un grand nombre de mesures.
7. En utilisant les informations du document 4, que pouvez-vous dire de la fiabilité du pycnomètre réalisé ?

ACTIVITE 2. Détermination de la formule de l'antiacide Gaviscon en composition massique

- **Objectif** : obtenir une formule en teneur/composition massique
- **Matériel** : pycnomètre ou tout autre matériel pour mesurer une masse volumique, Gaviscon®
- **Ressources disponibles** : formule du Gaviscon® issue du brevet WO 2013/187720
- **Explicitation des consignes, des attentes ; tâches possibles** : Les produits formulés (shampooings, crèmes cosmétiques...) sont le plus souvent fabriqués à partir de formules donnant la liste des masses des ingrédients (en g) contenu dans 100 g de produit formulé. On parle ainsi de formule en teneur/composition massique. On se propose ici d'établir la formule d'une suspension antiacide à partir d'une mesure de masse volumique avec le pycnomètre de l'activité 1.

Travail à réaliser

Le brevet WO 2013/187720 propose la formule (tableau à gauche ci-dessous) pour l'antiacide Gaviscon®. On rappelle que l'acronyme QSP signifie **Quantité Suffisante Pour**.

1. Pour calculer la composition massique de chaque espèce chimique de l'antiacide, il est nécessaire de connaître la masse d'un litre d'antiacide (qui n'est pas une solution !). A l'aide des résultats de l'activité 1, calculer la masse d'un litre d'antiacide.
2. Calculer la composition massique de chaque espèce chimique et compléter le tableau à droite ci-dessous.

Formule initiale (issue du brevet)

quantité	Matière première
50 g	alginate de sodium
26,7 g	hydrogénocarbonate de sodium
16 g	carbonate de calcium
0,5 g	saccharose
2 g	arômes
4 g	4-hydroxybenzoate de méthyle (methyl paraben)
0,6 g	4-hydroxybenzoate de propyle (propyl paraben)
QSP 1L	eau
	TOTAL

Formule finale à trouver (composition massique)

% en masse	Matière première
	alginate de sodium
	hydrogénocarbonate de sodium
	carbonate de calcium
	saccharose
	arômes
	4-hydroxybenzoate de méthyle (methyl paraben)
	4-hydroxybenzoate de propyle (propyl paraben)
	eau
100,00	TOTAL

**Résultats d'expériences et dispositifs expérimentaux****Activité 1** réalisation d'un pycnomètre

La valeur de référence choisie est la masse volumique du Gaviscon® à 21 °C (cette valeur servira dans l'activité 2). Elle a été obtenue avec un vrai pycnomètre de laboratoire de volume normalisé 100 mL. On a ainsi trouvé

$$\rho_{\text{référence}} = 1,0540 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$$

$$\text{avec } u(\rho_{\text{référence}}) = 5 \cdot 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$$

Une série de 10 mesures (voir ci-contre) a été effectuée avec le pycnomètre maison « pot de yaourt » sur le Gaviscon®.

Le calcul de la moyenne donne

$$\rho = 1,100 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$$

et celui de l'écart-type

$$s = 0,016 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$$

$$u(\rho_{\text{moyen}}) = \frac{s}{\sqrt{10}} = 0,005 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$$

On pourra justifier avec les élèves que l'incertitude type de la valeur de référence est nulle puisqu'elle est 10 fois plus petite que celle de la valeur moyenne issue des mesures. On constate que, par rapport au vrai pycnomètre de laboratoire, le pycnomètre maison « pot de yaourt » est moins fidèle (incertitude-type plus élevée) et qu'il y a probablement un biais (l'écart entre la valeur de référence et la valeur moyenne est 10 fois supérieure à l'incertitude type).



A droite, pycnomètre « pot de yaourt »
et à gauche pycnomètre de laboratoire

Résultats avec le pycnomètre le pycnomètre « pot de yaourt » à 21°C

Essai	m ₀ en g	m ₁ en g	m ₂ en g	$\rho_{\text{référence}}^{21^\circ\text{C}}$ en g.mL ⁻¹
1	78,845	209,82	223,942	1,103
2	78,860	209,834	218,963	1,065
3	78,873	207,485	220,801	1,099
4	78,855	207,272	221,347	1,105
5	78,852	209,503	221,969	1,091
6	78,856	207,456	223,653	1,121
7	78,850	208,119	221,583	1,100
8	78,852	208,023	224,347	1,122
9	78,864	206,867	218,699	1,088
10	78,858	207,362	220,988	1,102

Activité 2 détermination de la formule de l'antiacide Gaviscon® en composition massique

Pour obtenir la formule en composition massique, il faut déterminer la masse volumique ρ du Gaviscon®. On utilise la mesure obtenue lors de l'activité 1 à savoir $\rho = 1,0540 \pm 0,0005 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ (résultat obtenu avec le pycnomètre de laboratoire de volume normalisé de 100 mL).

On en déduit donc qu'un volume de 1 L de Gaviscon® a une masse de 1054 g ce qui donne :

quantité	Matière première
50 g	alginate de sodium
26,7 g	hydrogénocarbonate de sodium
16 g	carbonate de calcium
0,5 g	saccharose
2 g	arômes
4 g	4-hydroxybenzoate de méthyle (methyl paraben)
0,6 g	4-hydroxybenzoate de propyle (propyl paraben)
QSP 1L	eau
1054 g	TOTAL

La donnée QSP 1 L du tableau correspond donc à une masse de 954,2 g. Il reste ensuite à « normaliser » la formule pour un total de 100 g ce qui donne



% en masse	Matière première
4,74	alginate de sodium
2,53	hydrogénocarbonate de sodium
1,52	carbonate de calcium
0,05	saccharose
0,19	arômes
0,38	4-hydroxybenzoate de méthyle (methyl paraben)
0,06	4-hydroxybenzoate de propyle (propyl paraben)
90,53	eau
100,00	TOTAL

Ce qu'il faut savoir faire :

Compétences	Capacités associées	Où dans cette partie ?
APP	Comprendre la nécessité de deux mesures (l'une avec le produit et l'autre avec l'eau) pour déterminer la masse volumique avec le pycnomètre maison	Activité n°1
	Comprendre la nécessité d'une valeur de référence pour vérifier la fiabilité du pycnomètre maison	Activité n°1
ANA	Utiliser la donnée masse volumique pour obtenir la masse d'un volume de produit	Activité n°2
REA	Utiliser une balance	Activité n°1
	Calculer la composition massique d'un mélange	Activité n°2
	Calculer une moyenne et un écart-type	Activité n°1
VAL	Répéter une mesure pour estimer une moyenne et un écart-type	Activité n°1
	Comparer une valeur mesurée à une valeur de référence	Activité n°1
COM	Ecrire un résultat avec son incertitude, son unité et le nombre de chiffres significatifs	Activité n°1

Liens avec le programme de physique chimie de seconde

Thème	Notions et contenus	Où dans cette partie ?
Mesures et incertitudes	Variabilité de la mesure d'une grandeur physique Incertitude type Ecriture du résultat Valeur de référence	Activité n°1



Constitution et transformations de la matière	Espèce chimique, corps pur, mélanges d'espèces chimiques, mélanges homogènes et hétérogènes. Identification d'espèces chimiques dans un échantillon de matière par des mesures physiques ou des tests chimiques.	Activité n°1
	Composition massique d'un mélange	Activité 2



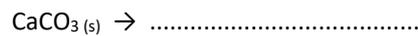
PARTIE 2 : RÔLE DES MATIÈRES PREMIÈRES DE LA FORMULE DE L'ANTIACIDE

ACTIVITE 1. Rôle du carbonate de calcium et de l'hydrogénocarbonate de sodium

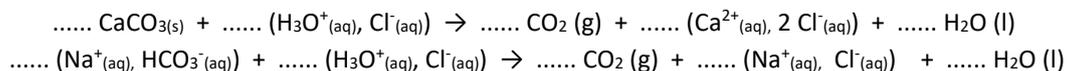
- **Objectif** : faire la différence entre une solution et une dispersion (ici une suspension), mise en évidence du phénomène de sédimentation et de l'effet d'un acide sur un sel carbonaté
- **matériel** : tube à essais, carbonate de calcium et hydrogénocarbonate de sodium, acide chlorhydrique
- **Ressources disponibles** : aucune
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** : Dans un tube à essai, introduire un peu de carbonate de calcium puis dans un second tube à essai introduire un peu d'hydrogénocarbonate de sodium. Ajouter dans chaque tube environ 2 mL d'eau distillée. Agiter et observer. Ajouter quelques gouttes d'acide chlorhydrique et observer.

Travail à réaliser

1. Dans un tube à essai, introduire un peu de carbonate de calcium puis dans un second tube à essai introduire un peu d'hydrogénocarbonate de sodium. Ajouter dans chaque tube environ 2 mL d'eau distillée. Agiter et observer.
2. A l'aide des observations précédentes, compléter les équations ci-dessous modélisant l'action de l'ajout d'eau sur les sels carbonatés (carbonate de calcium et hydrogénocarbonate de sodium).



3. Nommer l'état du mélange obtenu dans chaque tube après agitation.
4. Agiter le tube contenant le carbonate de calcium et laisser reposer. Nommer le phénomène observé.
5. Ajouter quelques gouttes d'acide chlorhydrique dans chacun des tubes précédents et observer.
6. Compléter les équations ci-dessous modélisant l'action de l'ajout de l'acide chlorhydrique sur les sels carbonatés (carbonate de calcium et hydrogénocarbonate de sodium).



ACTIVITE 2. Rôle de l'alginate de sodium, formation d'un gel

- **Objectifs** : mettre en évidence la gélification de l'alginate de sodium en présence d'ions calcium par une étude de la diffusion des ions oxonium dans des billes d'alginate de calcium
- **matériel** : balance, deux béchers de 50 mL, bécher de 100 mL, éprouvette de 100 mL, fiole jaugée de 250 mL, fiole jaugée de 50 mL, pH-mètre, chronomètre, pipette pasteur, alginate de sodium, chlorure de calcium, bleu de bromothymol, solution de soude et d'acide chlorhydrique de concentration autour de 0,5 mol.L⁻¹
- **Ressources disponibles** : documents 1 à 3
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** : nous allons mettre en évidence le phénomène de gélification de l'alginate de sodium en présence d'ions calcium en réalisant des sphères de gel d'alginate de calcium et étudier le phénomène de diffusion des ions oxonium dans le gel. Cette activité est plus qu'inspirée des travaux de l'équipe de Lorenzo Soprani que l'on peut retrouver (l'étude est bien plus poussée) dans le livre Handbook of molecular gastronomy édité par Roisin Burke, Allan Kelly, Christophe Lavelle et Hervé This (pages 689-701, Ionic diffusion in spherified calcium alginate gels : a laboratory experiment)



Document 1 : l'acide alginique et les alginates

L'acide alginique est extrait de la paroi cellulaire des cellules des algues brunes (c'est une sorte de « colle » des constituants de la membrane cellulaire). **Les alginates sont ensuite obtenus par neutralisation des fonctions acides de l'acide alginique.**

L'alginate le plus utilisé, l'alginate de sodium (formule chimique ci-contre), est ainsi obtenu par neutralisation de l'acide alginique (formule chimique ci-contre) avec l'hydroxyde de sodium de formule chimique NaOH (communément appelé soude).

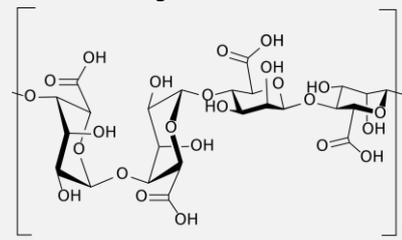
L'acide alginique est une **macromolécule** appelée copolymère car la molécule est un enchaînement de dérivés de l'acide mannuronique (noté ici M, formule chimique ci-contre) et de l'acide glucuronique (noté ici G, formule chimique ci-contre). La masse molaire de l'acide alginique est comprise entre 32 000 et 200 000 g.mol⁻¹ ce qui correspond à un enchaînement entre 180 et 930 de dérivés M et G. Les proportions et l'ordre d'enchaînement des dérivés M et G dans la chaîne du copolymère dépendent du lieu de récolte et des conditions de culture de l'algue.

Les alginates sont plus précisément des copolymères blocs c'est-à-dire que la chaîne de la macromolécule combine des parties rigides composées d'un seul dérivé (bloc M pour les blocs constitués uniquement de dérivé de l'acide mannuronique ou bloc G pour les blocs constitués uniquement de dérivé de l'acide glucuronique) et des parties souples composées des deux dérivés (bloc MG).

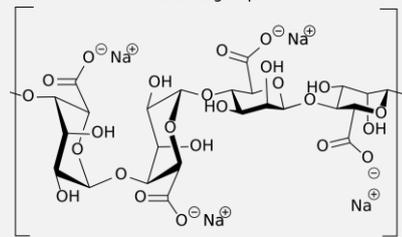
Les blocs G peuvent s'associer (on dit complexer en chimie) aux ions calcium Ca²⁺. Il se forme alors un **gel** d'alginate de calcium à cause de la formation de « nœuds » entre macromolécules d'alginate : Ces nœuds faisant penser à une boîte d'œufs, on parle d'association en boîte d'œufs.



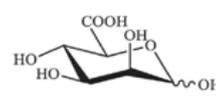
algues brunes



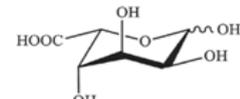
Acide alginique



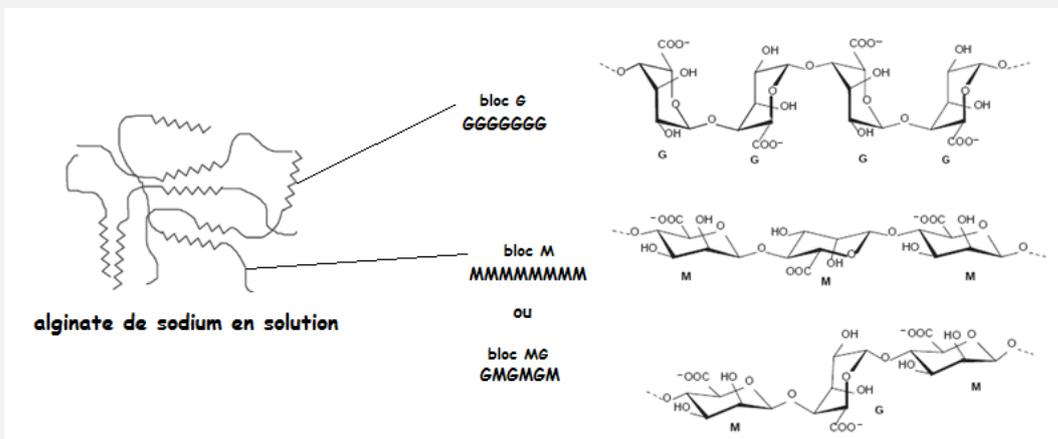
Alginate de sodium



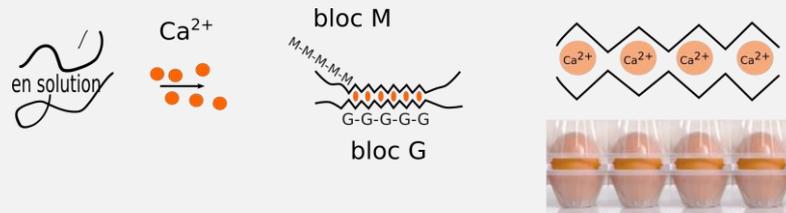
acide mannuronique



acide glucuronique

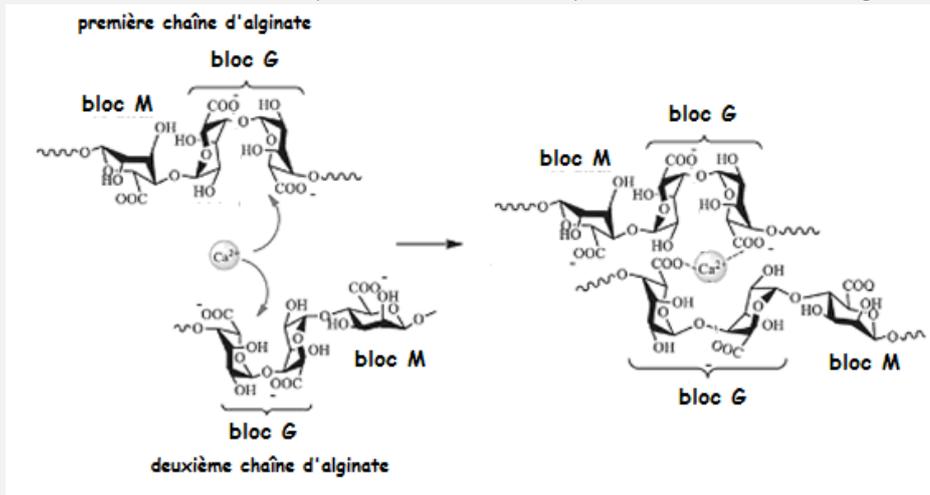


mécanisme simplifié de la formation d'un nœud entre macromolécules d'alginate



noeud "boite à oeufs"

mécanisme détaillé de la complexation d'un ion calcium par deux macromolécules d'alginate



Document 2 : la sphérification en cuisine moléculaire



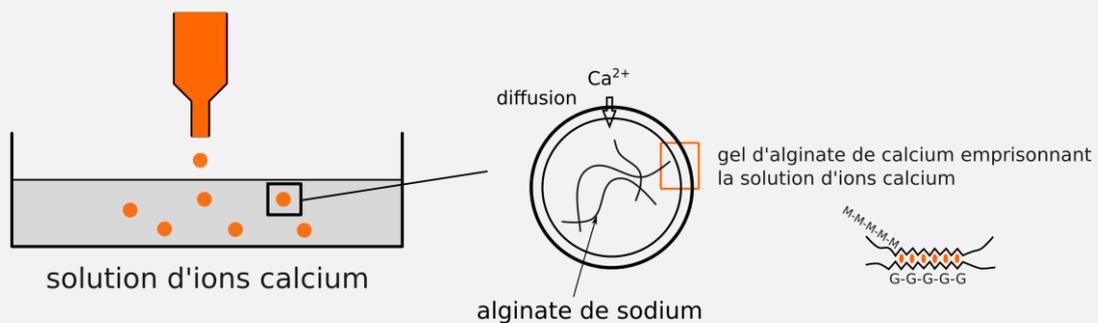
Pixabay (Lounis Aissaoui)

La sphérification est une technique de gélification qui donne une forme de sphère à un liquide par formation d'un gel chimique. Cette technique est couramment utilisée en cuisine moléculaire avec l'utilisation du couple alginate de sodium/ sels de calcium. Elle a été mise au point en 2003 par le célèbre chef cuisinier Ferran Adrià Acosta du restaurant El Bulli

Le procédé est le suivant : Une goutte sphérique d'une solution d'alginate de sodium est plongée dans un bain de sel de calcium (chlorure, lactate ou gluconate, les deux derniers sont neutres au goût). Une pellicule gélifiée se forme en surface et s'épaissit vers l'intérieur. On obtient ainsi des sphères de cœur liquide si on retire rapidement la bille* ou entièrement rigide si la durée de contact est suffisante.

*La sphère finira cependant par gélifier entièrement car les petits ions calcium emprisonnés dans la coquille de gel d'alginate de calcium sont mobiles contrairement aux grosses molécules d'alginate et **diffusent** au cœur de la bille.

solution d'alginate de sodium

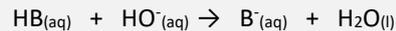


**Document 3 le colorant bleu de bromothymol**

Le bleu de bromothymol (souvent abrégé en BBT) est un colorant hydrosoluble dont la couleur dépend du pH de la solution. Cette propriété est utilisée dans les dosages acido-basiques pour lesquels il sert d'indicateur coloré : il permet d'identifier l'équivalence de la réaction de dosage.

Le bleu de bromothymol est un composé acide que l'on peut noter $\text{HB}_{(\text{aq})}$ (forme acide) : il colore les solutions aqueuses en jaune (« teinte acide ») si le bleu de bromothymol est majoritairement sous sa forme acide $\text{HB}_{(\text{aq})}$

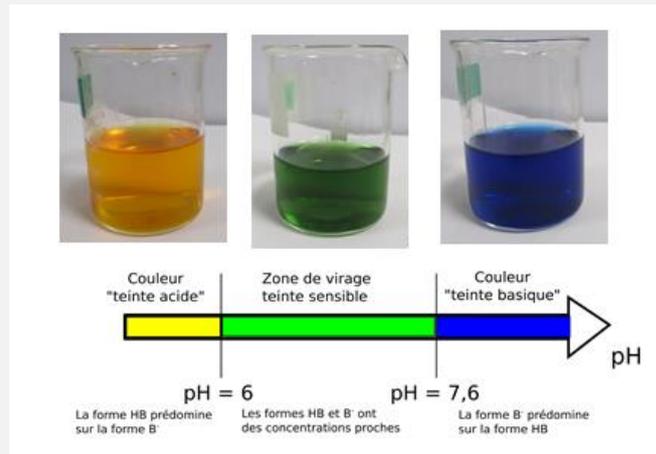
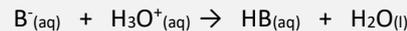
En présence d'ion hydroxyde $\text{HO}^-_{(\text{aq})}$, l'espèce chimique $\text{HB}_{(\text{aq})}$ se transforme en l'espèce chimique $\text{B}^-_{(\text{aq})}$ (forme basique) :



Le composé chimique $\text{B}^-_{(\text{aq})}$ donne une coloration bleue (« teinte basique »). Si le bleu de bromothymol est majoritairement sous la forme $\text{B}^-_{(\text{aq})}$, la solution sera donc bleue.

Si aucune des deux formes $\text{HB}_{(\text{aq})}$ et $\text{B}^-_{(\text{aq})}$ ne prédomine, la solution se colore en vert (mélange d'un colorant bleu et d'un colorant jaune).

Remarquons que l'on peut retrouver l'espèce chimique HB en ajoutant des ions oxonium $\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}$ à l'espèce chimique $\text{B}^-_{(\text{aq})}$.

**Document 4 : protocole de réalisation de sphères gélifiées colorées**

✓ Préparer*, sous agitation, 50 mL d'une solution d'alginate de sodium à 10 g.L^{-1} . La solution doit être limpide (absence de bulles). Attention, la solubilisation peut être longue (on pourra chauffer un peu pour accélérer la dissolution). Ajouter ensuite 50 gouttes de l'indicateur coloré bleu de bromothymol (BBT). Cette solution sera appelée solution A par la suite.

* utiliser d'abord un bécher puis transférer dans une fiole jaugée car l'alginate de sodium est difficile à dissoudre et donne un bouchon dans le col de la fiole.

✓ Préparer 250 mL d'une solution de chlorure de calcium à 20 g.L^{-1} .

✓ Introduire dans un bécher de 100 mL un volume de 60 mL de la solution de chlorure de calcium à 20 g.L^{-1} . Ajouter ensuite 60 gouttes d'indicateur coloré bleu de bromothymol (BBT). Fixer le pH de cette solution à une valeur entre 10,0 et 10,5 (utiliser un pH-mètre) en ajoutant gouttes à gouttes une solution d'hydroxyde de sodium*. Répartir enfin dans deux béchers de 50 mL la solution de chlorure de calcium obtenue (chaque bécher contient donc environ 30 mL). Ces béchers seront par la suite appelés béchers B et C.

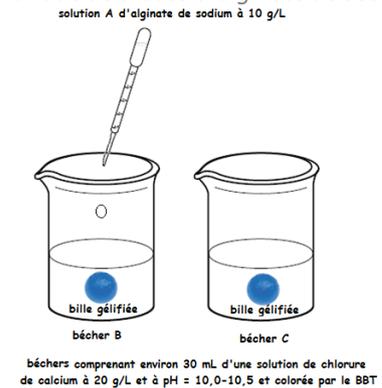
* par exemple, une soude de concentration d'environ $0,5 \text{ mol.L}^{-1}$



✓ Avec une pipette Pasteur en plastique, faire tomber dans le bécher B une vingtaine de gouttes de la solution A d'alginate de sodium à 10 g.L^{-1} . Procéder lentement et goutte à goutte pour obtenir des gouttes sphériques de diamètres similaires. Attendre ensuite entre 20 et 30 minutes puis récupérer l'ensemble des sphères colorées en bleu*.

* on pourra utiliser une petite passoire de cuisine

✓ Introduire les sphères colorées dans le bécher C et attendre 15 minutes. Récupérer ensuite les sphères colorées. Cette étape permet de s'assurer que toutes les sphères sont des solutions gélifiées d'hydroxyde de sodium et de BBT de même concentration.



Document 5 : étude de la diffusion à différents pH

Etude de la diffusion à $\text{pH} = 2,0$

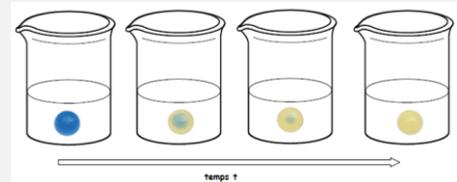
✓ Prélever 50 mL de la solution de chlorure de calcium à 20 g.L^{-1} dans un bécher de 100 mL. Fixer le pH de cette solution à environ 2,0 (utiliser un pH-mètre) avec une solution d'acide chlorhydrique*. Introduire une bille colorée (choisir parmi les billes les plus sphériques et qui ont des diamètres proches) et observer sa décoloration du bleu en jaune. Mesurer le temps pour obtenir sa coloration complète en jaune. Répéter plusieurs fois l'opération pour obtenir une moyenne et un écart-type.

* environ 15 gouttes avec un acide chlorhydrique à environ $0,5 \text{ mol.L}^{-1}$

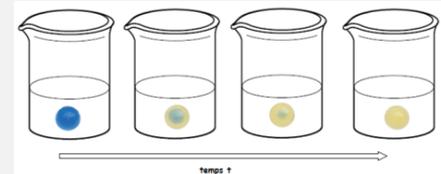
Etude de la diffusion à $\text{pH} = 3,0$

✓ Prélever 50 mL de la solution de chlorure de calcium à 20 g.L^{-1} dans un bécher de 100 mL. Fixer le pH de cette solution à environ 3,0 (utiliser un pH-mètre) avec une solution d'acide chlorhydrique. Introduire une bille colorée (choisir parmi les billes les plus sphériques et qui ont des diamètres proches) et observer sa décoloration du bleu en jaune. Mesurer le temps pour obtenir sa coloration complète en jaune. Répéter plusieurs fois l'opération pour obtenir une moyenne et un écart-type.

* environ 2 gouttes avec un acide chlorhydrique à environ $0,5 \text{ mol.L}^{-1}$



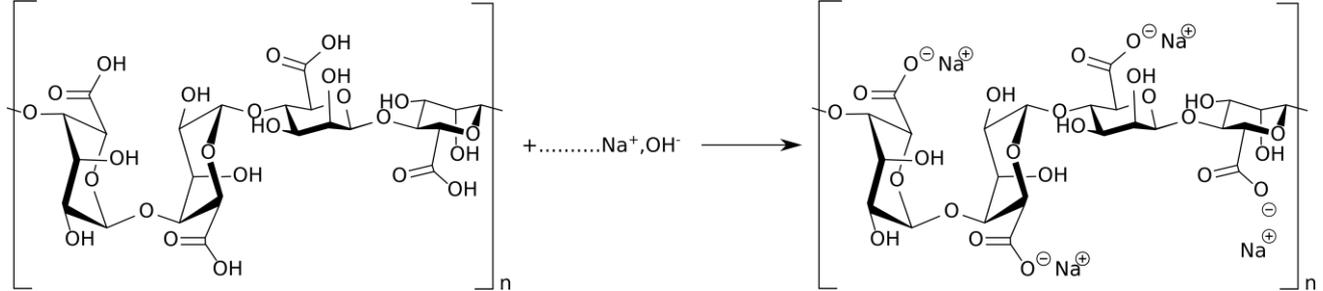
diffusion à $\text{pH} = 2,0$



diffusion à $\text{pH} = 3,0$

Travail à réaliser

1. Proposer une définition pour les termes **macromolécules**, **gel** et **diffusion** rencontrés dans les documents 1 et 2.
2. Compléter l'équation ci-dessous modélisant la transformation chimique de l'acide alginique en alginate de sodium. Cette transformation chimique est rencontrée dans le procédé industriel d'obtention de l'alginate de sodium à partir des algues (document 1).



3. En présence d'ions calcium, l'alginate de sodium se transforme en alginate de calcium et gélifie. Proposer une hypothèse expliquant pourquoi l'ion calcium, contrairement à l'ion sodium, provoque un phénomène de gélification de la macromolécule alginate (documents 1 et 2).
4. Calculer la masse d'alginate de sodium pour avoir 50 mL de solution d'alginate de sodium à 10 g.L⁻¹.
5. Calculer la masse de chlorure de sodium pour avoir 250 mL de solution de chlorure de calcium à 20 g.L⁻¹.
6. Préparer une vingtaine de sphères gélifiées de solution d'hydroxyde de sodium colorées en bleu par le colorant bleu de bromothymol (BBT) (document 3) en suivant le protocole du document 4.
7. Déterminer le temps pour changer la couleur bleue des billes gélifiées en couleur jaune en suivant la procédure du document 5 puis comparer les résultats obtenus.
8. Proposer une hypothèse sur la nature chimique des espèces qui diffusent et qui sont responsables du changement de couleur.

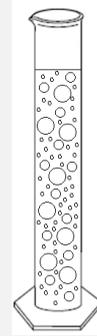
ACTIVITE 3. Rôle de l'alginate de sodium dans le phénomène de sédimentation d'une suspension

- **Objectif** : mettre en évidence le ralentissement de la sédimentation d'une suspension par augmentation de la viscosité du milieu continu dispersant
- **matériel** : balance, fiole jaugée de 250 mL, chronomètre, éprouvette de 250 mL, glycérol, lampe
- **Ressources disponibles** : documents 1 et 2
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** : nous allons mettre en évidence le ralentissement de la sédimentation d'une suspension de carbonate de calcium par augmentation de la viscosité du milieu dispersant. En effet, les forces de résistance subies par des particules en suspension augmentent lorsque la viscosité augmente. Pour augmenter légèrement la viscosité du milieu continu dispersant, on utilisera un mélange eau/glycérol.



Document 1 : le phénomène de sédimentation

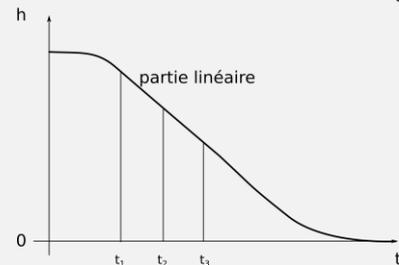
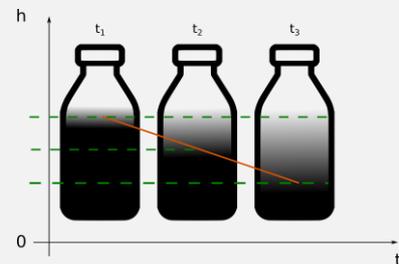
Une suspension constituée de particules solides de diamètres différents est introduite dans une éprouvette graduée, puis laissée au repos. A $t = 0$, la suspension dans l'éprouvette est homogène puis très vite, on constate la formation de plusieurs zones car la vitesse de chute (causée par la gravité) d'une particule dispersée dépend de son diamètre (document 2).



Suspension de particules solides de différents diamètres

En simplifiant, une zone de clarification (liquide clair constitué de particules dites colloïdales, celles qui ont des diamètres inférieurs à un micromètre et qui ne sont pas sensibles à la gravité) apparaît en haut de l'éprouvette suivi d'une zone de même aspect que la suspension initiale au milieu de l'éprouvette et enfin une zone d'accumulation de particules appelés sédiments en bas.

L'interface entre le liquide clair et la suspension progresse évidemment vers le bas de l'éprouvette. En mesurant l'évolution de cette interface au cours du temps, on constate que la vitesse de descente de l'interface est constante pendant une certaine durée car la variation d'altitude de l'interface est proportionnelle à la durée de déplacement de l'interface. On observe ensuite (si on attend suffisamment longtemps) un ralentissement progressif de la vitesse dû aux interactions entre particules qui s'accumulent en bas de l'éprouvette.



Exemple de courbe donnant l'évolution de l'interface entre le liquide clair et la suspension

**Document 2 : la loi de Stokes**

Une particule sphérique indéformable et isolée placée dans un liquide est soumise à deux forces :

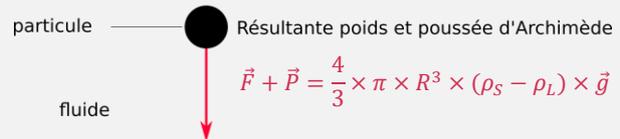
- le poids \vec{P} et de la poussée d'Archimède \vec{F} donnée par la relation :

$$\vec{P} = \frac{4}{3} \times \pi \times R^3 \times \rho_S \times \vec{g}$$

- la poussée d'Archimède :

$$\vec{F} = -\frac{4}{3} \times \pi \times R^3 \times \rho_L \times \vec{g}$$

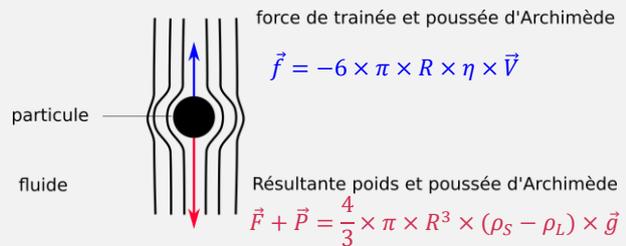
- ✓ R est le rayon de la particule en m
- ✓ ρ_S est la masse volumique de la particule en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- ✓ ρ_L est la masse volumique du liquide en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- ✓ η est la viscosité dynamique du liquide en $\text{Pa}\cdot\text{s}$
- ✓ g est l'accélération de pesanteur en $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ($g = 9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$)



- une force de résistance au mouvement appelée force de traînée \vec{f} (frottements) donnée par la relation :

$$\vec{f} = -6 \times \pi \times R \times \eta \times \vec{V}$$

- ✓ R est le rayon de la particule en m
- ✓ η est la viscosité dynamique du liquide en $\text{Pa}\cdot\text{s}$
- ✓ V est la vitesse de la particule en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$



Sous l'action du poids (force constante en intensité et en direction), la vitesse de la particule croît, ce qui entraîne une augmentation de la force de résistance au mouvement. La résultante des trois forces finit par devenir nulle et la vitesse de la particule devient alors constante. Cette vitesse notée V_{lim} est donnée par la relation suivante :

$$V_{lim} = \frac{2 \times (\rho_S - \rho_L) \times R^2 \times g}{9 \times \eta} \quad (\text{formule de Stokes})$$

diamètre de Stokes

Remarque 1 : Si la particule n'est pas sphérique, on peut définir un diamètre dit de Stokes qui correspond à la particule sphérique ayant un comportement identique face à la sédimentation que la particule réelle non sphérique.



Remarque 2 : Lorsque plusieurs particules de même dimension sont présentes dans un milieu fluide, la vitesse limite de chute de chaque particule reste sensiblement la même que celle d'une particule isolée si la suspension est diluée (teneur volumique en particules dispersées inférieure à 0,5 %).

Document 3 : données pour l'activité

composé	masse volumique en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ à 20°C	Viscosité en $\text{Pa}\cdot\text{s}$ à 20°C
eau	998	$1,00 \cdot 10^{-3}$
Solution aqueuse contenant 20 % de glycérol	1049	$1,76 \cdot 10^{-3}$
carbonate de calcium	2710	XXXX

**Document 4 : protocole pour l'étude de la suspension de carbonate de calcium à 80 g.L⁻¹ dans l'eau**

- ✓ Etape 1 : Peser dans une coupelle la masse de carbonate de calcium nécessaire pour préparer une suspension à 80 g.L⁻¹
- ✓ Etape 2 : Transvaser le solide pesé dans une fiole jaugée de 250 mL puis compléter la fiole jaugée avec de l'eau distillée.
- ✓ Etape 3 : Agiter bien la suspension 1 pour obtenir une suspension homogène, puis transvasez-la rapidement dans une éprouvette de 250 mL. Mesurer avec une règle la hauteur H de l'interface zone claire/suspension de la suspension à intervalles réguliers de 2 min. La durée totale d'essai sera de 20 minutes. On pourra éclairer avec une lampe pour mieux visualiser cette frontière.
- ✓ Etape 4 : Tracer l'évolution de la hauteur H zone claire/suspension en fonction du temps puis modéliser la partie linéaire de la courbe par une droite. Déterminer l'équation de cette droite

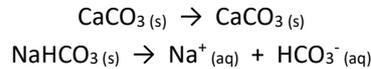
Travail à réaliser

1. Définir le phénomène appelé sédimentation.
2. En appliquant le principe d'inertie à une particule sphérique en mouvement dans un fluide, démontrer la formule de Stokes donnée dans le **document 2**.
3. La poudre de carbonate de calcium utilisée dans cette partie contient des particules de diamètre différent (on parle de granulométrie). Justifier à partir de la formule de Stokes que les particules les plus petites de la suspension vont sédimenter le plus lentement.
4. Calculer la masse de glycérol à peser pour préparer 300 g de solution aqueuse contenant 20 % (en masse) de glycérol. Préparer cette solution. Elle servira de phase continue dispersante pour la suspension B.
5. Calculer la masse de carbonate de calcium à peser pour préparer 250 mL d'une suspension de carbonate de calcium à 80 g.L⁻¹.
6. Réaliser le protocole du document 4 pour étudier la suspension de carbonate de calcium dans l'eau (**suspension A**).
7. Refaire l'étude précédente en remplaçant l'eau distillée lors de l'étape 2 par la solution aqueuse contenant 20 % de glycérol (**suspension B**).
8. Déterminer l'influence de la viscosité sur le phénomène de sédimentation.
9. Le résultat précédent est-il cohérent avec celui prédit par la formule de Stokes ?
10. En déduire un des rôles de l'alginate de sodium dans la formule de l'antiacide.
11. Déterminer, à partir de la formule de Stokes, le rayon des particules de la suspension qui sont les plus lentes à sédimenter.
12. La formule de Stokes permettant de calculer la vitesse d'une particule en suspension est valable seulement si la teneur volumique en particules dispersées de la suspension est inférieure à 0,5 % (pour pouvoir négliger ces voisines, on parle alors de suspension diluée). Montrer par un calcul qu'on ne peut pas considérer ici la suspension comme diluée puis critiquer le résultat du calcul du rayon de la question précédente.
13. Compléter le tableau ci-dessous résumant le rôle des différentes matières premières de la formule de l'antiacide de l'activité 1.

Matière première	Rôle(s) dans la formule
alginate de sodium	
hydrogénocarbonate de sodium	
carbonate de calcium	
saccharose	
arômes	
4-hydroxybenzoate de méthyle (methyl paraben)	
4-hydroxybenzoate de propyle (propyl paraben)	
eau	

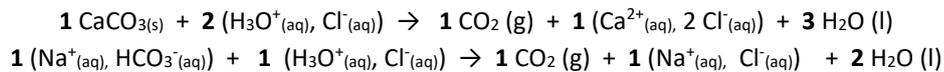
**Résultats d'expériences et dispositifs expérimentaux****Activité 1** rôle du carbonate de calcium et de l'hydrogénocarbonate de sodium

On observe que le carbonate de calcium ne se solubilise pas (ou peu) et forme **une suspension** aqueuse lors de l'agitation et que cette suspension n'est pas stable (elle sédimente rapidement). L'hydrogénocarbonate de sodium se solubilise entièrement et forme une **solution** aqueuse.



Pour ralentir le phénomène de sédimentation, il faut ajouter un épaississant ou choisir une poudre de granulométrie plus fine (voir activité 3).

En présence d'acide chlorhydrique, on observe un dégagement gazeux de dioxyde carbone :

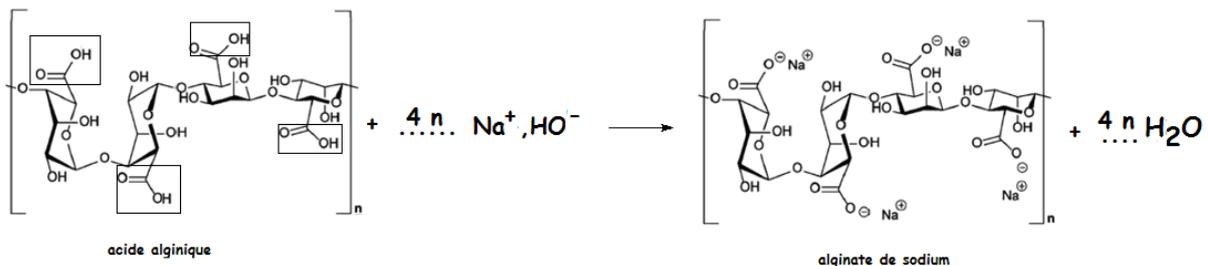
**Activité 2** rôle de l'alginate

Une macromolécule est une molécule de masse molaire très élevée : elle comporte des centaines voire des milliers d'atomes.

Un gel est une solution (ici aqueuse) immobilisée par une macromolécule réticulée (ici hydrosoluble) qui est un ensemble tridimensionnel de chaînes de macromolécules liées par des nœuds dits de réticulation (ici pont calcium). Le réseau réticulé ressemble à un filet de pêche et ralentit énormément les mouvements des molécules de la solution qu'il emprisonne.

La diffusion est un mouvement de particules sans mouvement d'ensemble (convection) qui tend à homogénéiser la concentration du milieu. Elle se réalise toujours des milieux les plus concentrés vers les milieux les moins concentrés.

En milieu basique, l'acide alginique se transforme en alginate.



L'ion calcium provoque la gélification d'une solution d'alginate contrairement à l'ion sodium car l'ion calcium peut former des liaisons électrostatique (en fait iono-covalente) avec deux fonctions carboxylate COO^- appartenant à deux chaînes de macromolécule d'alginate différente. On peut ainsi former un réseau tridimensionnel de macromolécules et donc un gel.

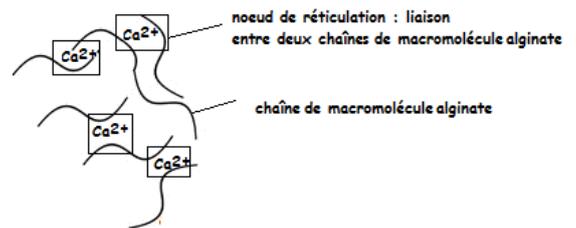
La masse d'alginate de sodium pour avoir 50 mL de solution d'alginate de sodium à 10 g.L^{-1} est donnée par le calcul suivant :

$$m_{\text{alginate de sodium}} = c_m \times V_{\text{solution}} = 10 \times 0,050 = 0,5 \text{ g}$$

La masse de chlorure de calcium pour avoir 100 mL de solution de chlorure de calcium à 20 g.L^{-1} est donnée par le calcul suivant :

$$m_{\text{chlorure de calcium}} = c_m \times V_{\text{solution}} = 20 \times 0,250 = 5,0 \text{ g}$$

Représentation simplifiée d'une macromolécule



Gel d'alginate de calcium : les molécules d'eau emprisonnées dans ce gel sont peu mobiles.



Formation des billes d'alginate colorées



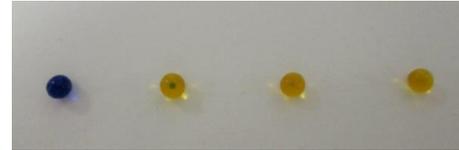
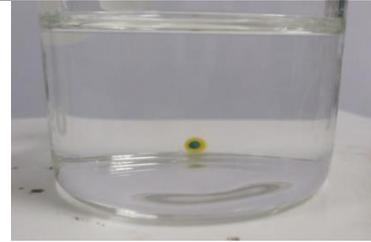
Pour observer le changement de couleur, on a obtenu :

Pour pH = 2,0, $t_{\text{décoloration_moyen}} = 116,4$ s et $s_2 = 6$ s

Pour pH = 3,0, $t_{\text{décoloration_moyen}} = 312,8$ s et $s_3 = 48$ s

Les temps de décoloration sont significativement différents car l'écart entre les durées est grand devant les écarts type estimés de chaque durée. Le temps de décoloration augmente avec le pH.

Le temps de décoloration est plus difficile à estimer pour pH = 3,0 car il est plus difficile d'identifier le moment où la totalité de la bille s'est décoloré (diffusion plus lente).



Décoloration d'une bille d'alginate

essai	pH = 2	pH = 3,0
1	114	260
2	108	361
3	124	330
4	117	350
5	119	263

Résultats obtenus (temps en s)

On constate que le changement de couleur est plus rapide dans l'acide chlorhydrique à pH = 2 que dans celui à pH = 3.

Le changement de couleur est dû à un changement de pH. On peut supprimer l'hypothèse d'une diffusion du colorant (la solution d'acide ne se colore pas). Deux hypothèses peuvent expliquer le changement de couleur des billes gélifiées : une diffusion des ions oxonium de la solution (milieu concentré en ions oxonium) vers l'intérieur de la bille (milieu dilué en ions oxonium) ou une diffusion des ions hydroxyde de l'intérieur de la bille (milieu concentré en ions hydroxyde) vers la solution (milieu dilué en ions hydroxyde). La couleur jaune s'étend de la périphérie vers l'intérieur de la bille : le phénomène de diffusion des ions oxonium est donc prépondérant sur celui des ions hydroxyde.

Une solution de pH = 2 a une concentration en ions oxonium de 10^{-2} mol.L⁻¹, une solution de pH = 3 a une concentration en ions oxonium de 10^{-3} mol.L⁻¹ et une solution de pH = 10 a une concentration en ions oxonium de 10^{-10} mol.L⁻¹. On vérifie que la diffusion est orientée du milieu le plus concentré vers le milieu le plus dilué et que le « moteur » de la diffusion » est la différence de concentration. Plus celle-ci est importante, plus la diffusion est rapide.

Activité 3 : rôle de l'alginate dans le phénomène de sédimentation de l'antiacide

La sédimentation est l'accumulation des particules dispersées d'une suspension en bas à cause des effets de la gravité.

Pour démontrer la formule de Stokes, il suffit de partir de l'égalité

$$\text{Norme de la force motrice} = \text{norme de la force de résistance au mouvement}$$

La vitesse de chute des particules dispersées donnée par la formule de Stokes est proportionnelle au carré du rayon des particules : plus le rayon des particules est faible, plus la vitesse est faible.

Pour obtenir 300 g de solution aqueuse contenant 20 % de glycérol, il faut peser

$$m_{\text{glycérol}} = 300 \times 0,2 = 60 \text{ g}$$

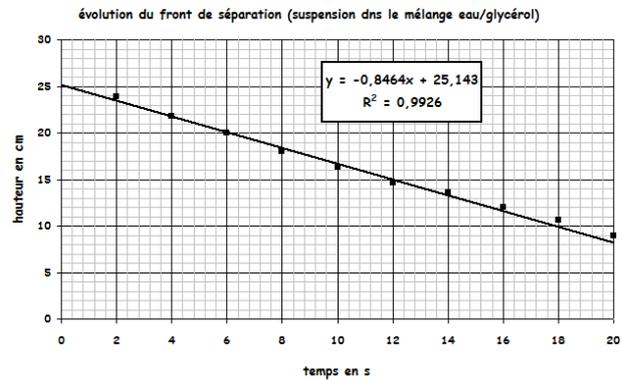
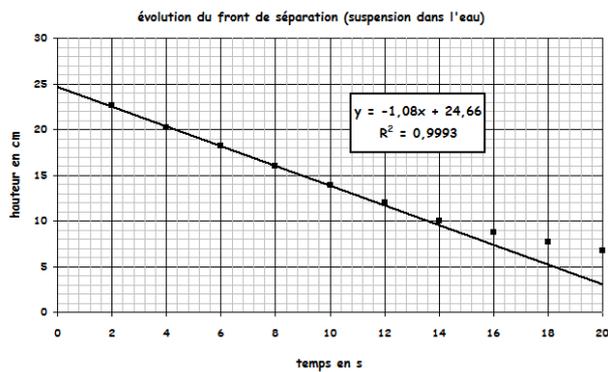
$$m_{\text{eau}} = 300 - 60 = 140 \text{ g}$$

Pour obtenir 250 mL de suspension de carbonate de calcium à 80 g.L⁻¹, il faut peser

$$m(\text{CaCO}_3) = 80 \times 0,25 = 20 \text{ g}$$



On donne ci-dessous les résultats obtenus (ces courbes sont appelées courbes de Kynch)



La vitesse de chute de l'interface liquide clair/suspension est plus faible dans le cas de la suspension dans le milieu continu le plus visqueux (mélange eau-glycérol).

La vitesse de chute des particules dispersées donnée par la formule de Stokes est inversement proportionnelle à la viscosité du milieu liquide dispersant : plus le milieu continu dispersant est visqueux, plus la vitesse de chute est faible.

L'alginate de sodium de l'antiacide est une macromolécule solubilisée dans l'eau : il va augmenter la viscosité du milieu et donc ralentir le phénomène de sédimentation.

Le front de séparation liquide clair/suspension est dû aux particules les plus lentes à sédimenter. La vitesse v des particules de la suspension les plus lentes est donc donnée par la formule $v = -\Delta h / \Delta t$ (notations du document 1). C'est l'opposé du coefficient directeur de la droite tracée. On trouve donc

- pour la phase continue dispersante eau $v = 1,08 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$
- pour la phase continue dispersante eau-glycérol $v = 0,85 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$

On observe donc un ralentissement de la sédimentation pour ces particules lorsque la viscosité du milieu continu dispersant augmente.

Pour déterminer le rayon des particules les plus lentes, on utilise la loi de Stokes :

- pour la phase continue dispersante eau

$$R = \sqrt{\frac{9 \times \eta \times V}{2 \times (\rho_s - \rho_L) \times g}} = \sqrt{\frac{9 \times 0,001 \times \frac{1,08 \cdot 10^{-2}}{60}}{2 \times (2710 - 998) \times 9,8}} = 6,9 \text{ } \mu\text{m}$$

- pour la phase continue dispersante eau-glycérol

$$R = \sqrt{\frac{9 \times \eta \times V}{2 \times (\rho_s - \rho_L) \times g}} = \sqrt{\frac{9 \times 0,00176 \times \frac{0,85 \cdot 10^{-2}}{60}}{2 \times (2710 - 1049) \times 9,8}} = 8,2 \text{ } \mu\text{m}$$

Utiliser la formule de Stokes est très discutable car la suspension n'est pas du tout diluée. On peut estimer la teneur volumique en carbonate de calcium de la suspension et vérifier qu'elle est très supérieure à 0,5 %

RECAPITULATIF



Matière première	Rôle(s) dans la formule
alginate de sodium	- Augmenter la viscosité du milieu dispersant pour ralentir le phénomène de sédimentation - former un gel en présence d'ions calcium
hydrogénocarbonate de sodium	- diminuer l'acidité (base qui réagit sur un acide) - former du dioxyde de carbone (sans libération d'ions calcium) en milieu acide
carbonate de calcium	- diminuer l'acidité (base qui réagit sur un acide) - former du dioxyde de carbone (avec libération d'ions calcium) en milieu acide - libérer des ions calcium pour la formation du gel avec l'alginate de sodium
saccharose	- apporte un goût sucré et masquer le goût désagréable de certaines matières premières
arômes	- modifier le goût
4-hydroxybenzoate de méthyle (methyl paraben)	- conservateur antimicrobien
4-hydroxybenzoate de propyle (propyl paraben)	- conservateur antimicrobien
eau	- milieu de solubilisation et de suspension

Ce qu'il faut savoir faire :

Compétences	Capacités associées	Où dans cette partie ?
APP	Comprendre le mécanisme de gélification de l'alginate	Activité n°2
	Comprendre le changement de couleur de l'indicateur coloré BBT	Activité n°2
ANA	Interpréter l'influence du pH sur la diffusion	Activité n°2
	Relier le rayon des particules à la vitesse de sédimentation à l'aide de la loi de Stokes	Activité n°3
	Associer une grandeur physique au coefficient directeur d'une droite	
REA	Réaliser une solution de concentration massique connue	Activité n°2
	Utiliser une balance et une fiole jaugée pour réaliser la solution	Activité n°2 et 3
	Mesurer un pH au pH-mètre	Activité n°2
	Calculer une moyenne et un écart-type	Activité n°2
	Tracer une courbe	Activité n°3
VAL	Interpréter le rôle des sels carbonatés dans la formule de l'antiacide	Activité n°1
	Confronter la loi de Stokes aux résultats expérimentaux	Activité n°3
COM	Rédiger les questions de manière cohérente et compréhensible	Activité n°1 et 2
	Ecrire un résultat avec son incertitude, son unité et le nombre de chiffres significatifs	Activité n°2



Liens avec le programme de physique chimie de seconde

Thème	Notions et contenus	Où dans cette partie ?
Mesures et incertitudes	Variabilité de la mesure d'une grandeur physique Incertitude type Ecriture du résultat Valeur de référence	Activité n°2
Constitution et transformations de la matière	Mélanges homogènes et hétérogènes Corps pur et mélanges au quotidien Les solutions aqueuses, un exemple de mélange	Activité n°2
Modélisation des transformations de la matière et transfert d'énergie	Modélisation macroscopique d'une transformation par une réaction chimique	Activité n°2
Mouvements et interactions	Description du mouvement Modélisation d'une action par une force Principe d'inertie	Activité n°3



PARTIE 3 : REALISATION DE L'ANTIACIDE ET MISE EN EVIDENCE DE L'EFFET RADEAU

ACTIVITE 1. Réalisation d'une suspension de carbonate de calcium antiacide

- **Objectifs** : réaliser un contretypage du Gaviscon®
- **Matériel** : mélangeur*, pot métallique de 250 mL, alginate de sodium, hydrogénocarbonate de calcium, carbonate de calcium

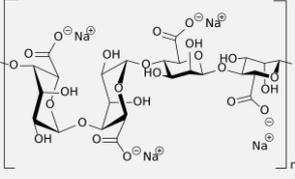
* le mélange obtenu est visqueux, un mélange avec un barreau magnétique risque d'être insuffisant (prévoir un barreau de grosse taille pour une agitation vigoureuse).

- **Ressources disponibles** : aucune
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** : Le contretypage en formulation est l'opération qui consiste à reproduire la formulation d'un concurrent (en respectant évidemment les droits de brevets s'ils existent !). On se propose ici de réaliser un contretypage du Gaviscon® à partir de quatre ingrédients : l'alginate de sodium, le carbonate de sodium, l'hydrogénocarbonate de sodium et l'eau. Il ne contiendra donc pas les conservateurs (parabènes), les arômes et le sucre.

Document 1 : formule du Gaviscon®

Le contretypage en formulation est l'opération qui consiste à reproduire la formulation d'un concurrent (en respectant évidemment les droits de brevets s'ils existent !).

Formule de l'antiacide

% en masse	Matière première	Formule chimique de la matière première
4,7	alginate de sodium	
2,5	hydrogénocarbonate de sodium	NaHCO ₃
1,5	carbonate de calcium	CaCO ₃
91,3	eau	H ₂ O
100,0	TOTAL	

**Document 2 : fiche de fabrication du Gaviscon®**

Matière première	Masse à peser en g	Masse effectivement pesée en g	Manipulations et observations
Eau distillée du laboratoire			A t = 0*, on introduit l'eau dans une cuve métallique de 250 mL puis on agite à l'aide d'un mélangeur à faible vitesse. A t = 1 min, on ajoute lentement l'alginate de sodium puis on agite jusqu'à dissolution (20 minutes au total). On observe l'apparition transitoire de grumeaux. La vitesse a donc été augmentée. On obtient au finale une solution visqueuse non bullée. A t = 21 min, on ajoute l'hydrogénocarbonate de sodium et on agite pendant 5 minutes. A t = 26 min, on ajoute le carbonate de calcium et on agite pendant 10 minutes.
Alginate de sodium			
hydrogénocarbonate de sodium			
carbonate de calcium			
TOTAL			

Travail à réaliser

1. A l'aide des documents 1 et 2, expliquer la différence entre une formule et une fiche de fabrication.
2. On se propose ici de réaliser un contretype du Gaviscon® à partir de quatre ingrédients : l'alginate de sodium, le carbonate de sodium, l'hydrogénocarbonate de sodium et l'eau.
Compléter la fiche de fabrication du document 2 pour une obtenir une masse de 150 g de suspension antiacide.
La suspension ainsi fabriquée ne contiendra donc pas les conservateurs (parabènes), les arômes et le sucre.
3. Fabriquer 150 g de la suspension antiacide et noter dans la fiche de fabrication, les masses effectivement pesées.

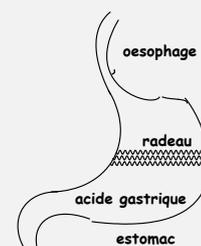
ACTIVITE 2. Mise en évidence de l'effet antiacide

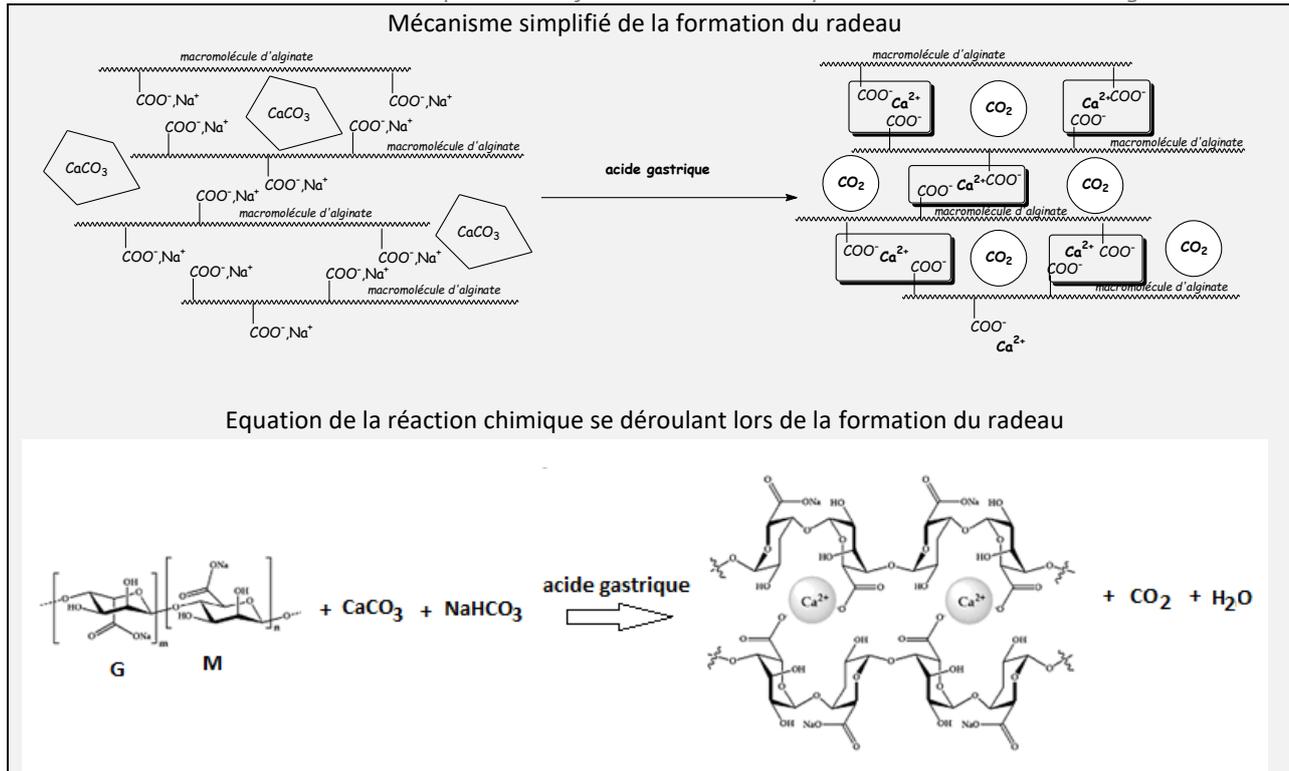
- **Objectif** : mise en évidence du mécanisme antiacide
- **matériel** : bécher de 150 mL, acide chlorhydrique décimolaire, Gaviscon® commercial, antiacide fabriqué
- **Ressources disponibles** : document 1
- **Explicitation des consignes, des attentes ; taches possibles** : Dans un bécher, ajouter 100 mL d'acide chlorhydrique décimolaire (pour avoir pH proche de 1). Mesurer le pH (utilisation d'un pH-mètre). Ajouter 15 g de Gaviscon®. Observer puis remesurer le pH de la solution acide. Faire de même avec la suspension antiacide fabriqué. Comparer les résultats et observations.

Document 1 : mécanisme de l'effet antiacide

Lorsque l'antiacide ingéré arrive au niveau du contenu gastrique acide de pH proche de 1, le carbonate de calcium en suspension dans l'antiacide libère des ions calcium : il se forme alors un gel d'alginate de calcium avec l'alginate de sodium contenu dans l'antiacide. Il se forme aussi du dioxyde de carbone lors de l'attaque acide du carbonate de sodium qui s'ajoute à celui formé lors de l'attaque acide de l'hydrogénocarbonate de sodium.

Lors de la formation du gel d'alginate de calcium, de nombreuses bulles de dioxyde de carbone sont emprisonnés et le gel formé flotte comme un radeau. Ce « radeau » empêche ainsi le reflux du contenu gastrique dans l'œsophage en agissant comme une barrière/bouchon entre l'estomac et l'œsophage.





Travail à réaliser

1. A l'aide de la formule de la suspension antiacide (document 1 de l'activité 1 partie 3) et des résultats de l'activité 1, partie 2, calculer la quantité maximale de matière en ions oxonium qui peut réagir avec 15 g de la suspension antiacide fabriquée.

Enoncé détaillé en cas de difficulté.

- Identifier les deux espèces chimiques de la formule de la suspension antiacide (document 1 de l'activité 1 partie 3) qui réagissent avec les ions oxonium.
- Calculer la masse de ces deux espèces chimiques à l'aide des compositions massiques indiquées dans la formule.
- Calculer les quantités de matière correspondantes
- A l'aide de chacune des deux équations de réaction établies dans l'activité 1 de la partie 2, calculer les quantités maximales de matière en ions oxonium qui peut réagir avec chacune des deux espèces.
- En déduire la quantité de matière en ions oxonium qui peut réagir avec 15 g de la suspension antiacide fabriquée.

Données : les masses molaires de l'hydrogénocarbonate de sodium $M(\text{NaHCO}_3) = 84 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ et du carbonate de calcium $M(\text{CaCO}_3) = 100,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

2. Prévoir l'évolution du pH lors de l'ajout de l'antiacide.
3. Dans un bécher, ajouter 100 mL d'acide chlorhydrique décimolaire (pour avoir pH proche de 1). Mesurer le pH (utilisation d'un pH-mètre). Ajouter 15 g de Gaviscon®. Observer puis remesurer le pH de la solution acide. Faire de même avec la suspension antiacide fabriqué. Les résultats sont-ils conformes à vos prévisions ?
4. Proposer une explication pour la flottabilité du gel d'alginate de calcium.

**Résultats d'expériences et dispositifs expérimentaux****Activité 1** : réalisation d'une suspension de carbonate de calcium

Une formule est un tableau donnant les natures chimiques et les quantités des matières premières dans un ordre quelconque alors qu'une fiche de fabrication est un tableau qui donne les natures commerciales et les quantités des matières premières dans l'ordre d'incorporation. Ce tableau précise par ailleurs les conditions opératoires de fabrication (durée, vitesse d'agitation, température...) ainsi que diverses observations (aspect du mélange, problème rencontré...). Une même matière première peut donc apparaître plusieurs fois dans une fiche de fabrication si elle est rajoutée en plusieurs fois ! Par ailleurs, une formule est donnée en général pour 100 g de produit alors qu'une fiche de fabrication est donnée pour une masse quelconque de produit (celle qui est fabriquée le jour de production). Une fiche de fabrication est un outil de traçabilité de l'entreprise.

Matière première	Masse à peser en g	Masse effectivement pesée en g	Manipulations et observations
Eau distillée du laboratoire	136,95	137,3	A t = 0*, on introduit l'eau dans une cuve métallique de 250 mL puis on agite à l'aide d'un mélangeur à faible vitesse. A t = 1 min, on ajoute lentement l'alginate de sodium puis on agite jusqu'à dissolution (20 minutes au total). On observe l'apparition transitoire de grumeaux. La vitesse a donc été augmentée. On obtient au finale une solution visqueuse non bullée.
Alginate de sodium d'Aldrich	7,05	7,1	
hydrogénocarbonate de sodium	3,75	3,9	
carbonate de calcium	2,25	2,1	
TOTAL	150,0	150,4	A t = 21 min, on ajoute l'hydrogénocarbonate de sodium et on agite pendant 5 minutes. A t = 26 min, on ajoute le carbonate de calcium et on agite pendant 10 minutes.

* dans l'industrie on indique l'heure du jour de fabrication

Deux antiacides ont été formulés, chacun avec un alginate* provenant d'un fournisseur différent (fournisseur Aldrich et fournisseur Erba). Les résultats obtenus sont très différents : la viscosité de l'antiacide fabriqué dépend beaucoup de l'alginate utilisé. Ceux utilisés ici donnent une viscosité trop élevée (si on compare l'antiacide obtenu avec le Gaviscon®) car les fournisseurs classiques (Aldrich, Merck...) de produit chimique ne dispose pas du grade adéquat (il faut utiliser un grade utilisé par les industriels).

*les alginates diffèrent sur la masse molaire moyenne de la macromolécule, la répartition et densité des blocs M, G et MG...

Activité 2 : mise en évidence de l'effet antiacide

Une masse de 15 g d'antiacide contient

$15 \times 0,025 = 0,375$ g d'hydrogénocarbonate de sodium

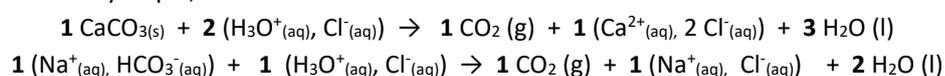
$15 \times 0,015 = 0,225$ g de carbonate de calcium

Ce qui donne les quantités de matières

$m(\text{NaHCO}_3)/M(\text{NaHCO}_3) = 0,375/84 = 4,46$ mmol d'hydrogénocarbonate de sodium

$m(\text{CaCO}_3)/M(\text{CaCO}_3) = 0,225/100,1 = 2,25$ mmol de carbonate de calcium

En présence d'acide chlorhydrique, on observe les réactions suivantes





Les sels carbonatés (réactifs limitants) peuvent donc réagir sur
 $n(\text{H}_3\text{O}^+) = 2 n(\text{CaCO}_3) + n(\text{NaHCO}_3) = 2 \times 4,46 + 2,25 = 11,17 \text{ mmol}$
On a négligé la réaction avec les fonctions carboxylate libre de l'alginate.

On observe la formation d'une masse gélatineuse appelée radeau car elle flotte sur la solution acide. Le radeau est plus volumineux pour le Gaviscon® commercial car la suspension antiacide fabriquée est trop visqueuse.

De nombreuses vidéos montrant la formation du radeau existent sur internet.

L'ajout d'un antiacide doit augmenter le pH (diminution de l'acidité).

On a mesuré un pH de 1,3 avant ajout du Gaviscon® puis un pH = 2,1 après ajout : l'acidité du milieu a diminué.

On a mesuré un pH de 1,3 avant ajout de la suspension antiacide fabriquée puis un pH = 1,5 après ajout : l'acidité du milieu a diminué mais plus faiblement.

Le gel d'alginate de calcium flotte car, lors de sa formation, il emprisonne des bulles de gaz (dioxyde de carbone). La densité du gel est ainsi inférieure à 1 et la poussée d'Archimède l'emporte sur son poids.

Ce qu'il faut savoir faire :

Compétences	Capacités associées	Où dans cette partie ?
APP	Interpréter la formation du radeau	Activité n°2
	Utiliser une formule	Activité n°3
ANA	Etablir un ordre d'ajout d'une formule	Activité n°1
	Prévoir l'évolution du pH	Activité n°2
REA	Calculer des compositions massiques	Activité n°1
	Calculer des quantités de matière en exploitant une équation de réaction chimique	Activité n°2
	Utiliser une balance et une fiole jaugée pour fabriquer une solution	Activité n°1
VAL	Confronter le produit contretypé au produit de référence	Activité n°1
COM	Rédiger une fiche de fabrication	Activité n°1
	Rédiger les questions de manière cohérente et compréhensible	Activité n°2



Liens avec le programme de physique chimie de seconde

Thème	Notions et contenus	Où dans cette partie ?
Constitution et transformations de la matière	Composition massique d'un mélange	Activité n°1
	Stœchiométrie, réactif limitant	Activité n°2

Bibliographie et sitographie

1. Agir contre les brûlures d'estomac (ressource Eduscol 2016, consultée en mai 2022)

<https://eduscol.education.fr/document/17746/download#:~:text=Agir%20contre%20les%20br%C3%BBlures%20d'estomac%20%E2%80%93%20Version%20autonome&text=Sa%20grand%2Dm%C3%A8re%2C%20pharmacienne%2C,grand%20nombre%20de%20renvois%20gazeux.>

2. Chemistry in your cupboard: Gaviscon (resource Royal Society of Chemistry, consultée en mai 2022)

<https://edu.rsc.org/resources/chemistry-in-your-cupboard-gaviscon/11.article>

3. Handbook of molecular gastronomy édité par Roisin Burke, Allan Kelly, Christophe Lavelle et Hervé This (pages 689-701, Ionic diffusion in spherified calcium alginate gels : a laboratory experiment)

4. Quelques vidéos sur l'effet antiacide des suspensions type Gaviscon®

<https://www.youtube.com/watch?v=dgQloQvMGfE>

<https://www.youtube.com/watch?v=-3pWM6iQm78>