



Les candidats doivent remplir cette page puis remettre cette chemise accompagnée de la version finale de leur mémoire à leur superviseur.

Numéro de session du candidat

Nom du candidat

Code de l'établissement

Nom de l'établissement

Sessions d'examens (mai ou novembre)

Mar

Année

2013

Matière du Programme du diplôme dans laquelle ce mémoire est inscrit : Chimie

(Dans le cas d'un mémoire de langue, précisez la langue et s'il s'agit du groupe 1 ou 2.)

Titre du mémoire : L'effet de la température de conservation sur la dégradation de la vitamine C

### Déclaration du candidat

*Cette déclaration doit être signée par le candidat, sans quoi aucune note finale ne pourra être attribuée.*

Le mémoire ci-joint est le fruit de mon travail personnel (mis à part les conseils permis par le Baccalauréat International que j'ai pu recevoir).

J'ai signalé tous les emprunts d'idées, d'éléments graphiques ou de paroles, qu'ils aient été communiqués originellement par écrit, visuellement ou oralement.

Je suis conscient que la longueur maximale fixée pour les mémoires est de 4 000 mots et que les examinateurs ne sont pas tenus de lire au-delà de cette limite.

Ceci est la version finale de mon mémoire.

Signature du candidat :

Date :

## Rapport et déclaration du superviseur.

Le superviseur doit remplir ce rapport, signer la déclaration et remettre au coordonnateur du Programme du diplôme la version définitive du mémoire dans la présente chemise.

Nom du superviseur [en CAPITALES].

Le cas échéant, veuillez décrire le travail du candidat, le contexte dans lequel il a entrepris sa recherche, les difficultés rencontrées et sa façon de les surmonter (voir les pages 13 et 14 du guide Le mémoire). L'entretien de conclusion (ou soutenance) pourra s'avérer utile pour cette tâche. Les remarques du superviseur peuvent aider l'examineur à attribuer un niveau pour le critère K (évaluation globale). Ne faites aucun commentaire sur les circonstances personnelles défavorables qui auraient pu affecter le candidat. Si le temps passé avec le candidat est égal à zéro, vous devrez l'expliquer et indiquer comment il vous a été possible de vérifier que le mémoire était bien le fruit du travail du candidat en question. Vous pouvez joindre une feuille supplémentaire si l'espace fourni ci-après est insuffisant.

Cette étudiante a démontré un véritable intérêt pour son projet de l'instant où elle l'a proposé jusqu'à la fin de l'écriture de son mémoire. Elle a pris soin de bien lire par documenter son travail de recherche. En laboratoire, bien qu'elle ait rencontré des difficultés avec des résultats très variables par ses oranges, elle a su proposer elle-même des solutions afin d'obtenir des résultats représentatifs et reproductibles.

Cette déclaration doit être signée par le superviseur, sans quoi aucune note finale ne pourra être attribuée.

J'ai lu la version finale du mémoire qui sera envoyée à l'examineur.

À ma connaissance, le mémoire constitue le travail authentique du candidat.

J'ai consacré  heures d'encadrement au candidat pour ce mémoire.

Signature du superviseur :

Date :

## Formulaire d'évaluation (réservé à l'examinateur)

Critères d'évaluation	Niveau					
	L'examinateur 1	Max.	L'examinateur 2	Max.	L'examinateur 3	
A Question de recherche	2	2	<input type="text"/>	2	<input type="text"/>	
B Introduction	1	2	<input type="text"/>	2	<input type="text"/>	
C Recherche	4	4	<input type="text"/>	4	<input type="text"/>	
D Connaissance et compréhension du sujet étudié	3	4	<input type="text"/>	4	<input type="text"/>	
E Raisonnement	4	4	<input type="text"/>	4	<input type="text"/>	
F Utilisation des compétences d'analyse et d'évaluation adaptées à la matière	3	4	<input type="text"/>	4	<input type="text"/>	
G Utilisation d'un langage adapté à la matière	4	4	<input type="text"/>	4	<input type="text"/>	
H Conclusion	1	2	<input type="text"/>	2	<input type="text"/>	
I Présentation formelle	4	4	<input type="text"/>	4	<input type="text"/>	
J Résumé	1	2	<input type="text"/>	2	<input type="text"/>	
K Évaluation globale	3	4	<input type="text"/>	4	<input type="text"/>	
Total sur 36		<input style="width: 50px;" type="text" value="30"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	

BACCALaurÉAT INTERNATIONAL  
MÉMOIRE  
CHIMIE

L'effet de la température de conservation sur la dégradation de la vitamine C

## RÉSUMÉ

La vitamine C, aussi nommée acide ascorbique, est essentielle pour la survie humaine à cause de son grand pouvoir antioxydant, mais elle est fragile chimiquement et se dégrade par réactions radicalaires ou enzymatiques. Une fois dégradée, c'est-à-dire oxydée, elle devient de l'acide déshydroascorbique, perd son pouvoir réducteur et ne peut plus être utilisée par le corps humain.

Puisque l'on ne peut pas synthétiser cette vitamine, il est donc nécessaire de se la procurer dans les aliments. La quantité que l'être humain peut absorber d'un aliment varie puisque sa concentration varie en fonction de la méthode de conservation de cet aliment. En effet, dépendamment de la condition environnante qui inclut l'humidité, la température et la luminosité entre autres, l'acide ascorbique se dégrade à différentes vitesses. De nos jours, la vitamine C existe aussi en forme de comprimés. En cas de carence, c'est une méthode plus rapide et facile d'absorber une grande quantité de vitamine en peu de temps.

Le but de cette recherche est d'examiner l'effet de la température de conservation de la vitamine C contenue dans des oranges et dans des comprimés, en suivant sa cinétique de dégradation. Cela permet aussi de trouver une température optimale de conservation. Différentes oranges et solutions ont été entreposées à quatre températures (40°C, 18-25°C, 3°C et -18°C). À l'aide de dosages volumétriques, on peut déterminer la concentration de vitamine C à un moment précis et un graphique en fonction du temps permet de déterminer les équations de vitesse. Il y a une grande variabilité dans les oranges fraîches. On ne peut donc pas conclure. Cependant, les résultats obtenus à partir des solutions préparées à partir de comprimés sont très précis, comme les coefficients de corrélation le démontrent. La température influence effectivement la vitesse de dégradation de la vitamine C.

295 mots

## REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à remercier sincèrement \_\_\_\_\_, mon superviseur de mémoire, sans qui ce document n'aurait jamais vu le jour. Il s'est montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire. Je le remercie également pour l'inspiration et l'aide apportées ainsi que le temps qu'il a bien voulu me consacrer.

J'exprime ma gratitude à tous les consultants et personnels des bibliothèques qui m'ont beaucoup aidé dans mes recherches documentaires et au technicien de laboratoire \_\_\_\_\_ pour la préparation et l'entretien du matériel utilisé.

Enfin, je n'oublie pas mes parents et amis, qui m'ont toujours soutenue et encouragée durant la rédaction.

Merci à tous et à toutes.

## TABLE DES MATIÈRES

<b>RÉSUMÉ</b> .....	II
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	I
<b>TABLE DES MATIÈRES</b> .....	II
<b>INTRODUCTION</b> .....	3
<i>QUESTION DE RECHERCHE</i> .....	5
<i>HYPOTHÈSE</i> .....	6
<i>SÉLECTION DES VARIABLES</i> .....	6
<i>MODÈLE EXPÉRIMENTAL</i> .....	7
<b>MATÉRIEL</b> .....	9
<b>MÉTHODE</b> .....	9
<i>PRÉPARATION DES SOLUTIONS DE <math>CUSO_4</math></i> .....	9
<i>PRÉPARATION DES SOLUTIONS DE VITAMINE C</i> .....	9
<i>DOSAGE DES SOLUTIONS DE VITAMINE C</i> .....	9
<b>RÉSULTATS</b> .....	10
<i>DONNÉES TRAITÉES</i> .....	10
<b>DISCUSSION</b> .....	14
<b>CONCLUSION</b> .....	19
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	21
<i>ENCYCLOPÉDIE</i> .....	21
<i>LIVRES</i> .....	21
<i>INTERNET</i> .....	21
<i>ARTICLES DE PÉRIODIQUE</i> .....	23
<b>ANNEXES</b> .....	24
<i>ANNEXE I : MATÉRIEL ET MÉTHODE (PROTOCOLE DÉTAILLÉ)</i> .....	25
<i>ANNEXE II: L'EXPÉRIENCE AVEC LES ORANGES FRAÎCHES</i> .....	28
<i>ANNEXE III : TABLEAU DES DONNÉES BRUTES ET EXEMPLES DE CALCUL</i> .....	36
<i>ANNEXE IV : GRAPHIQUES DE DÉGRADATION DE LA VITAMINE C EN SUPPOSANT QUE LA RÉACTION EST D'ORDRE 1 OU 2</i> .....	41

## INTRODUCTION

L'acide ascorbique, couramment appelé vitamine C, est un antioxydant indispensable à la survie et au développement des cellules.<sup>1</sup> C'est une molécule qui a un pouvoir réducteur très fort et qui subit l'oxydation lors des collisions avec les radicaux libres produits naturellement par le corps ou absorbés dans l'air. L'acide ascorbique est également important pour l'absorption de certains éléments métalliques, notamment le fer<sup>2</sup> qui est essentiel dans la synthèse de l'hémoglobine. Il est aussi très efficace contre le stress, certains cancers et plusieurs études semblent démontrer qu'elle a un effet contre le vieillissement.<sup>3</sup> La vitamine C peut aussi aider à prévenir certaines maladies en renforçant le système immunitaire par ses effets antiallergique, anti-inflammatoire et antiviral entre autres.<sup>4</sup> Bref, une carence en vitamine C aura des répercussions très graves et entraînera même le scorbut, une putréfaction progressive du corps humain<sup>5</sup>. Par contre, un surplus de vitamine C n'a pas d'effet négatif connu jusqu'à ce jour, car elle est facilement éliminée du corps par excrétion. Cette élimination est même bénéfique puisque la vitamine C peut neutraliser certaines substances toxiques et cancérigènes du tube digestif et régularise le transit.<sup>6</sup> Même à des posologies de plus de 50 g par jour, le patient ne présente qu'une diarrhée.<sup>7</sup>

En effet, cette vitamine peut être synthétisée naturellement uniquement à partir du glucose grâce à l'enzyme l-gulonolactoneoxydase, qui n'est pas présent dans le corps humain.<sup>8</sup> Le besoin quotidien<sup>9</sup> doit donc être satisfait par ingestion de vitamine C de

---

<sup>1</sup> CORSON, Pierre, *Notre ange gardien la vitamine C & ses alliés indispensables à la santé*, Paris, Guy Trédaniel éditeur, 1995, p.35

<sup>2</sup> RUEFF, Dominique, *Vitamine C : pour tous et pour la vie*, Genève, Édition Jouvence, 2000, p.18

<sup>3</sup> CAMEROUN Ewan et Linus PAULING, *La vitamine C contre le cancer*, Saint-Lambert, L'étincelle, 1982, p.191

<sup>4</sup> RUEFF Dominique, *op.cit.*, p.18-20

<sup>5</sup> CORSON, Pierre, *op.cit.*, p.96-97

<sup>6</sup> CORSON, Pierre, *op.cit.*, p. 60-61

<sup>7</sup> CORSON, Pierre, *op.cit.*, p.101-103

<sup>8</sup> CORSON, Pierre, *op.cit.*, p.57



l'extérieur. La vitamine C existe sous forme de comprimés, mais la consommation de fruits et légumes riches en cette vitamine est une meilleure façon de se la procurer. Cependant, la vitamine C est fragile chimiquement. C'est aussi pour cela qu'elle est un antioxydant efficace, car elle réagit avec un oxydant facilement.

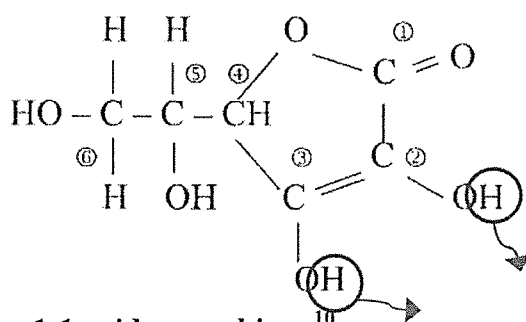


Fig. 1-1 acide ascorbique<sup>10</sup>

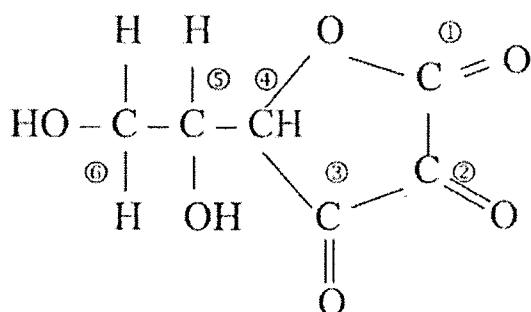


Fig. 1-2 acide déshydroascorbique<sup>6</sup>

Le groupe énediol entre C<sup>2</sup> et C<sup>3</sup> peut être facilement oxydé par les radicaux libres dans l'air en acide déshydroascorbique (perte de 2 atomes d'hydrogène et la formation de deux liens carbonyles) qui ne remplit plus les fonctions de l'acide ascorbique. Lorsqu'il est impliqué dans une réaction d'oxydoréduction, il joue le rôle

<sup>9</sup> Les besoins en vitamine C pour différents groupes de personnes sont disponibles sur Santé Canada : [[http://www.hc-sc.gc.ca/dhp-mps/prodnatur/applications/licen-prod/monograph/mono\\_vitamin\\_c-fra.php](http://www.hc-sc.gc.ca/dhp-mps/prodnatur/applications/licen-prod/monograph/mono_vitamin_c-fra.php)]. Le maximum peut aller jusqu'à 120 mg (environ 3 oranges bien conservées) par jour.

<sup>10</sup> CHIMIX, *La vitamine C; spectrophotomètre*, [En ligne]. [<http://www.chimix.com/an6/bts6/cosm.htm>]. (Consulté le 20 novembre 2012)

du réducteur. Il est donc oxydé. Les C<sup>2</sup> et C<sup>3</sup> avaient un degré d'oxydation de +1, mais ils deviennent +2 en libérant deux électrons. Recevant la charge négative, l'oxydant sera réduit.

De plus, dans les fruits et légumes, il y a présence d'une enzyme qui dégrade la vitamine C dès qu'elles sont cueillies.<sup>11</sup> Donc, si la conservation est inadéquate, la consommation de produits naturels riches en vitamine C peut ne pas fournir assez de cette dernière. La température a une grande influence sur une multitude de réactions chimiques, ainsi que la dégradation de l'acide ascorbique.

### *Question de recherche*

Étant donné que la vitamine C est sensible aux facteurs environnementaux, il est possible de mesurer une vitesse de dégradation à différentes températures. La vitesse sera calculée à partir de la variation de concentration de vitamine C dans une orange. À cause de la variabilité de concentration initiale, une expérience similaire a été réalisée à l'aide d'une solution mère préparée à partir des comprimés d'acide ascorbique extraite des produits naturels ou de source synthétique.

La question de recherche est : quelle est l'influence de la température du milieu fermé dans lequel des oranges ou des solutions de vitamine C sont entreposées, sur la vitesse de dégradation de l'acide ascorbique ?

Le but de cette recherche est de déterminer l'effet de la température sur la dégradation de l'acide ascorbique dans un milieu fermé. L'expérience permet également de vérifier quelle est la température optimale de conservation qui minimise les pertes de vitamine C.

---

<sup>11</sup> CORSON, Pierre, op.cit., p.112-113

### ***Hypothèse***

La réaction de dégradation est irréversible, ce qui veut dire que la concentration de vitamine C va seulement diminuer au cours de l'expérience à mesure que le temps passe. L'hypothèse est que plus la température est élevée, plus la dégradation de la vitamine C se fait rapidement. Afin de vérifier cette hypothèse, les oranges et les solutions de vitamine C seront entreposées à quatre températures différentes (40°C, 18-25°C, 3°C et -18°C). Ce sont à ces quatre températures que sont entreposés généralement les aliments. La concentration en vitamine C sera mesurée à différents intervalles de temps par dosage volumétrique. En traçant des graphiques appropriés de concentrations en fonction du temps et en calculant la pente  $k$ , on peut avoir quatre équations de vitesse à comparer ensuite.

### ***Sélection des variables***

Variable dépendante : la concentration en vitamine C des oranges et des solutions déterminée par dosage volumétrique à différents intervalles de temps depuis le début de l'entreposage

Variable indépendante : températures (40°C, 18-25°C, 3°C et -18°C) du milieu dans lequel sont entreposés les oranges ou les solutions de vitamine C

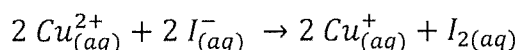
Variabes contrôlées : l'humidité et la surface de contact avec l'air ambiant (le ballon jaugé est fermé, pression de vapeur constante), la luminosité (très sombre, car enveloppée dans le papier d'aluminium), la nature du solvant pour les solutions (eau distillée), la concentration initiale en vitamine C (dans l'expérience réalisée avec les oranges fraîches, cette mesure n'est pas fixe, elle est contrôlée indirectement puisque les oranges ont tous une masse entre 250 et 300 g, proviennent du même endroit, d'une même sorte de plant et sont cueillis dans un intervalle de temps probablement court. Les comprimés sont alors utilisés puisqu'ils sont plus faciles à contrôler), le

volume initial de solution (250 mL), le volume de solution prélevé à chaque dosage (10 mL), le temps (10 min pour une orange et 5 min pour une solution de vitamine C) que la solution gelée (entreposée à -18°C) soit mise dans l'eau chaude pour revenir à l'état liquide et la température de l'eau chaude (entre 40°C et 70°C)

### ***Modèle expérimental***

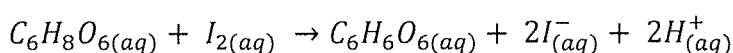
Une première expérimentation a été réalisée avec des oranges fraîches séparées que l'on coupe une à la fois pour en extraire le jus, mais la variabilité est si importante qu'elle ne donnera pas de données concluantes. Alors, une simplification a été faite pour ne prendre que strictement l'effet de la température sur la vitesse de dégradation. La solution ne contient que de l'eau distillée et la vitamine C est prise d'un comprimé qui est composé de majoritairement de molécules d'acide ascorbique. Ce sont des comprimés non croquables qui contiennent plus de vitamine C que le besoin quotidien et doivent être bien dissouts dans une quantité suffisante d'eau avant d'être consommés. Ensuite, les quatre températures sont accessibles dans la vie de tous les jours (40°C est comparable à la température d'une pièce plus chaude et plus humide, 18-25°C est généralement la température de la pièce, 3°C est mesurée dans les paniers de fruits des réfrigérateurs et -18°C est la température moyenne dans un congélateur).

La concentration en acide ascorbique est déterminée par un dosage volumétrique. Tout d'abord, un sel de cuivre (II) réagit avec un excès d'iodure pour former de l'iode selon l'équation d'oxydoréduction suivante :

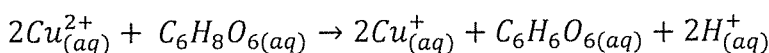


Le  $\text{Cu}^{2+}$  provient du sulfate de cuivre pentahydraté<sup>12</sup> et le  $\text{I}^-$  provient de l'iodure de potassium. Les ions  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{K}^+$  seront des ions spectateurs.

Ensuite, l'iode formé jouera le rôle de l'oxydant, réduit par la vitamine C. Une fois réduit, il reprendra la forme d'iodure. L'iode a une propriété qui est de former un complexe de couleur bleue avec l'amidon. Tant qu'il reste de la vitamine C, l'iode sera consommé dans cette réaction d'oxydoréduction. Lorsque toute la vitamine C est consommée, la couleur bleue apparaîtra puisqu'il y a excès de diiode.



En faisant un bilan global des deux réactions d'oxydoréduction, on peut voir que les composés iodiques peuvent être simplifiés et les coefficients stoechiométriques devant les ions  $\text{Cu}^{2+}$  et l'acide ascorbique donnent le rapport molaire.



Puisqu'une mole de  $\text{CuSO}_4$  donne une mole d'ions  $\text{Cu}^{2+}$ , il s'agit du même rapport entre la concentration du sulfate de cuivre et l'acide ascorbique.

$$\frac{V_{\text{CuSO}_4}[\text{CuSO}_4]}{\gamma_{\text{CuSO}_4}} = \frac{V_{\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6}[\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6]}{\gamma_{\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6}} \quad 13$$

Puisqu'il y a de la cinétique chimique à suivre, le dosage doit se faire plus rapidement, même s'il y a une plus grande marge d'erreur. En effet, le dosage se fait à la température pièce, peu importe le milieu dans lequel les solutions sont entreposées. Donc, si le dosage se fait très lentement, il y a une plus grande erreur venant de la dégradation à une deuxième température qui risque de fausser les résultats.

---

<sup>12</sup> Pour simplifier l'écriture, «sulfate de cuivre» ou « $\text{CuSO}_4$ » dans les prochaines pages feront référence au sulfate de cuivre pentahydraté ou  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

<sup>13</sup> Pour simplifier l'écriture, «[X]» dans les prochaines pages fera référence à la concentration d'une substance X.

D'après une étude sur la cinétique de la réaction de dégradation de la vitamine C, elle est d'ordre 0<sup>14</sup>. La distribution des concentrations de vitamine C en fonction du temps est linéaire.

Le graphique donnera la constante de vitesse en taux de variation :

$$[C_6H_8O_6]_t = -k(t) + [C_6H_8O_6]_0 \quad (\text{k étant la constante de vitesse et t, le temps})$$

L'équation instantannée de vitesse est donc :

$$v = k$$

## **MATÉRIEL**

*Les listes d'instruments, de réactifs et le protocole détaillé figure dans l'annexe I*

## **MÉTHODE**

Une expérience avec les oranges fraîches a été réalisée, mais à cause de la variabilité de la concentration en vitamine C de chaque orange, cette expérience ne donne pas des résultats concluants. *(Pour le protocole détaillé et les tableaux de données de cette expérience, voir annexe II)*

### ***Préparation des solutions de CuSO<sub>4</sub>***

### ***Préparation des solutions de vitamine C***

### ***Dosage des solutions de vitamine C***

---

<sup>14</sup> B.M. LAING, D.L. SCHLUETER, T.P. LABUZA, «DEGRADATION KINETICS OF ASCORBIC ACID AT HIGH TEMPERATURE AND WATER ACTIVITY», Volume 43, Issue 5, p.1440-1443, *Journal of Food Science*, September 1978

## RÉSULTATS

*Les tableaux de données brutes figurent dans l'annexe III*

### *Données traitées*

Tableau I. Concentration des solutions de  $\text{CuSO}_4$  diluées

Solution	$[\text{CuSO}_4]$
	mol/L
Mère	$0,0400 \pm 0,0004$
Diluée 1	$0,00400 \pm 0,00001$
Diluée 2	$0,001601 \pm 0,000005$
Diluée 3	$0,000800 \pm 0,000003$
Diluée 4	$0,000320 \pm 0,000001$

Tableau II. [vitamine C] dans la solution gardée à l'étuve ( $40^\circ\text{C}$ ) en fonction du temps

Do- sage	Temps écoulé depuis le début de l'entreposage	$[\text{CuSO}_4]$	V $\text{CuSO}_4$ utilisé	[vitamine C]
#	$\pm 0,5 \text{ h}^{15}$	mol/L	$\pm 0,1 \text{ mL}$	$\pm 0,0002 \text{ mol/L}$
1	0,0	$0,00400 \pm 0,00001$	12,5	0,0025
2	2,0		10,1	0,0020
3	20,5		8,1	0,0016
4	47,0		3,9	0,0008
5	48,0		3,6	0,0007
6	50,0		3,4	0,0007
7	70,0		1,1	0,0002
8	72,0	$0,001601 \pm 0,000005$	1,5	$0,00012 \pm 0,00001$
9	74,0		1,1	$0,00008 \pm 0,00001$

<sup>15</sup> La précision à la minute n'est pas nécessaire vu que la variation de la concentration en vitamine C chaque minute n'est pas significative, il y aura arrondissement à chaque 30 minutes.

Tableau III. [vitamine C] dans la solution gardée à la température pièce (18-25°C) en fonction du temps

Do- sage	Temps écoulé depuis le début de l'entreposage	[CuSO <sub>4</sub> ]	V CuSO <sub>4</sub> utilisé	[vitamine C]
#	± 0,5 h	mol/L	± 0,1 mL	± 0,0002 mol/L
1	0,0	0,00400 ± 0,00001	12,4	0,0025
2	3,0		10,4	0,0021
3	21,0		9,8	0,0020
4	47,0		8,0	0,0016
5	48,0		7,5	0,0015
6	50,0		7,5	0,0015
7	70,0		4,7	0,0009
8	72,5	0,001601 ± 0,000005	10,6	0,00085 ± 0,00001
9	74,5		9,5	0,00076 ± 0,00001

Tableau IV. [vitamine C] dans la solution gardée au réfrigérateur (3°C) en fonction du temps

Do- sage	Temps écoulé depuis le début de l'entreposage	[CuSO <sub>4</sub> ]	V CuSO <sub>4</sub> utilisé	[vitamine C]
#	± 0,5 h	mol/L	± 0,1 mL	± 0,0002 mol/L
1	0,0	0,00400 ± 0,00001	12,4	0,0025
2	3,0		12,0	0,0024
3	20,5		11,3	0,0023
4	47,5		10,6	0,0021
5	48,5		10,5	0,0021
6	50,0		10,4	0,0021
7	69,5		9,5	0,0019
8	72,0		9,2	0,0018
9	74,5		8,8	0,0018



Tableau V. Concentration de la vitamine C dans la solution gardée au congélateur (-18°C) en fonction du temps

Do- sage	Temps écoulé depuis le début de l'entreposage	[CuSO <sub>4</sub> ]	V CuSO <sub>4</sub> utilisé	[vitamine C]
#	± 0,5 h	mol/L	± 0,1 mL	± 0,0002 mol/L
1	0	0,00400 ± 0,00001	12,4	0,0025
2	3,0		12,5	0,0025
3	21,0		12,3	0,0025
4	47,5		12,8	0,0026 <sup>16</sup>
5	48,5		10,3	0,0021
6	5,00		9,7	0,0019
7	70,0		8,8	0,0018
8	72,5		9,6	0,0019
9	74,5		8,4	0,0017

Tableau VI. Vitesse de dégradation de la vitamine C à différentes températures<sup>17</sup>

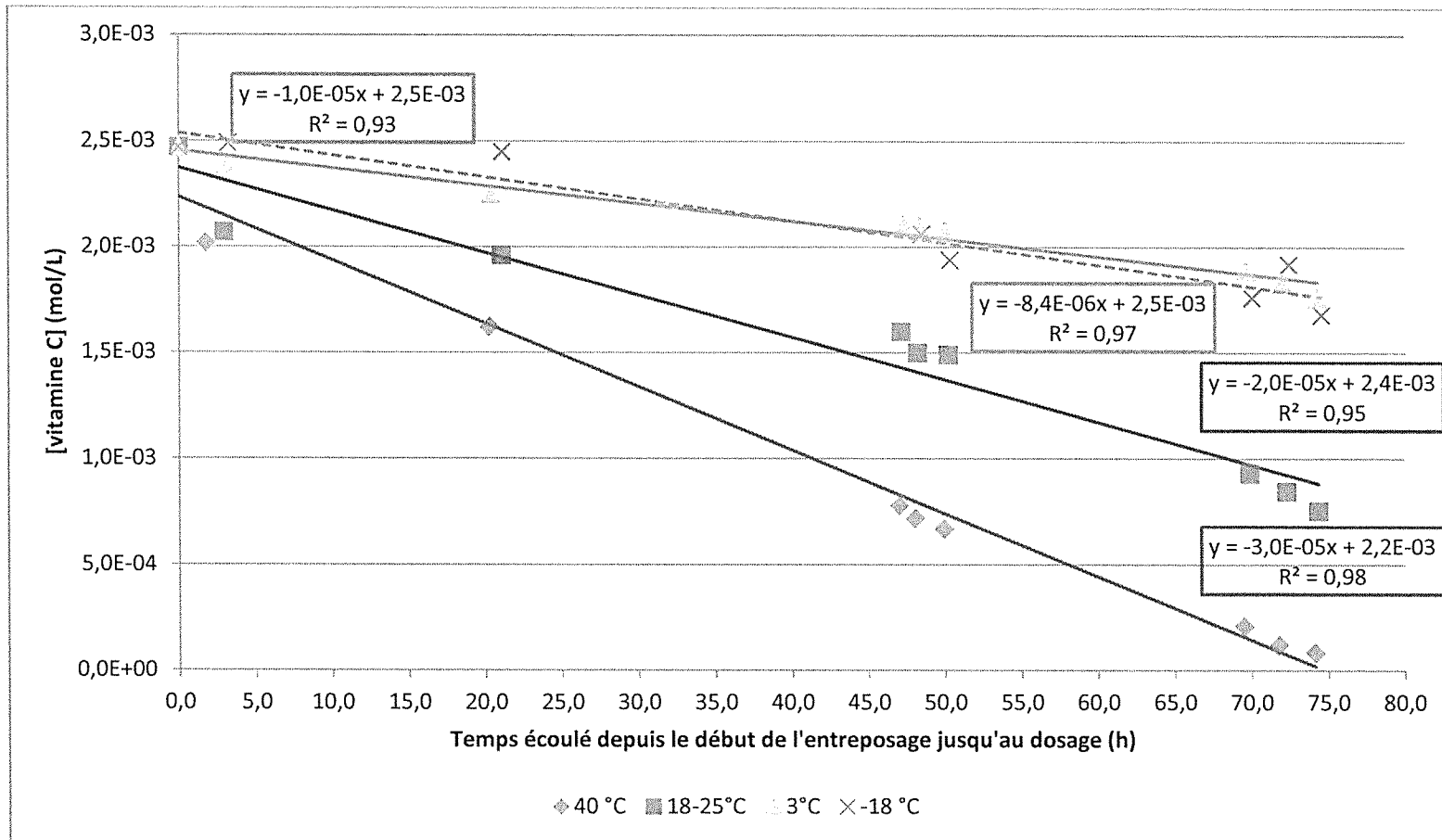
Température	Constante de vitesse	Vitesse de dégradation
°C	× 10 <sup>-5</sup> mol/(L · h)	× 10 <sup>-2</sup> % (m/m)/jour
40	3,0	1,3
18-25	2,0	0,85
3	0,84	0,35
-18	1,0	0,44

\* La solution a été mise dans les contenants en verre (ballons jaugés) fermés et enveloppés avec du papier d'aluminium.

<sup>16</sup> Puisqu'il ne peut y avoir synthèse de la vitamine C dans les solutions préparées, la concentration en vitamine C ne peut pas augmenter après une période de temps. Il s'agit d'une erreur de dosage.

<sup>17</sup> Pour des comprimés de vitamine C

Graphique I. La dégradation de la vitamine dans une solution aqueuse en fonction du temps à différentes températures. (La réaction est d'ordre 0 - voir annexe IV)



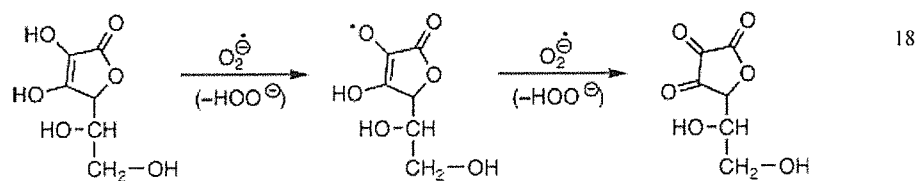
## DISCUSSION

Notre hypothèse est que la vitesse de dégradation de la vitamine C est plus grande lorsque la température est plus élevée. La vitesse peut être calculée à partir d'une variation de la concentration de la substance qui se dégrade en fonction du temps. En deux réactions d'oxydoréduction, on peut la déterminer par un dosage volumétrique. Le cuivre est réduit par l'iodure qui est réduit ensuite par l'acide ascorbique. Quand tout l'acide ascorbique est transformé en acide déshydroascorbique, il y a apparition de la couleur bleue pour présence de diiode non réduite. La quantité de vitamine C et du  $\text{CuSO}_4$  sont donc directement proportionnelles. Les coefficients stoechiométriques indiquent que le nombre de moles de la vitamine C est deux fois plus petit que celui du  $\text{CuSO}_4$ .

Dans le graphique I, il est possible de voir que les trois droites de tendance de  $40^\circ\text{C}$ ,  $18-25^\circ\text{C}$  et de  $3^\circ\text{C}$  sont distinctes les unes des autres. Dans les tableaux VIII à XI, on peut voir que les incertitudes absolues de chaque concentration de vitamine C sont très petites, donc les données à ces trois températures ne sont pas superposables et la différence de vitesse de dégradation due à la température est significative. Cependant, si on observe uniquement les données à  $3^\circ\text{C}$  et à  $-18^\circ\text{C}$ , on peut voir que les concentrations de vitamine C obtenue par dosage à des moments très près l'un de l'autre sont à peu près égales. Il y a une donnée aberrante due à une erreur de dosage dans les résultats de la solution entreposée à  $-18^\circ\text{C}$  (la concentration de vitamine C augmente par rapport au dernier dosage, ce qui est impossible puisqu'une solution ne peut produire de la vitamine C). On peut voir que la dégradation de la vitamine C se fait un peu plus lentement au début à  $-18^\circ\text{C}$  qu'à  $3^\circ\text{C}$ . Les données se croisent après environ 2 jours (45-50h) et vers la fin de l'expérimentation, la concentration de vitamine C de la solution restant à  $-18^\circ\text{C}$  est légèrement plus petite que celle à  $3^\circ\text{C}$ .

La solution congelée subit le plus de changements de températures soudains. Il y a également un risque que le dégel soit non uniforme car, afin de ne pas laisser la solution très longtemps à une température à laquelle elle ne doit pas être, seulement cinq minutes sont prévues pour chaque dégel. Seulement une partie de la solution est utilisée pour prise de données et la partie de solution au milieu n'est pas du tout touchée. La concentration de la vitamine peut donc être différente dans une même solution et il n'est pas possible de prévoir son impact quantitativement sur la réaction de dégradation. Pendant les cinq minutes de décongélation, la température de l'eau chaude n'est pas fixe et peut induire différentes vitesses de dégradation. Le fait de geler et de dégeler peut aussi avoir un impact sur la dégradation de la molécule.

Les coefficients de corrélation sont tous plus grands que 0,92, ce qui veut dire que les points sont très près de la droite de tendance. Pourtant, le premier point est en dessous de la droite comparée aux autres points. Par exemple, la concentration de vitamine C a diminuée de 0,0005 mol/L après deux heures dans l'étuve réglée à 40°C, mais la variation de concentration n'est que de -0,0004 mol/L lorsque dix-huit heures de plus se sont écoulées. On peut alors se poser des questions : est-ce que la vitesse de dégradation est en effet nécessairement toujours constante? Est-il possible qu'il y ait une plus grande vitesse dans les premiers instants d'un changement de température? Dans les équations générées à partir des droites de tendance, on peut voir que la concentration initiale varie d'une température à une autre. Seule la valeur de la solution entreposée au réfrigérateur est identique à la vraie valeur du dosage fait au tout début de l'entreposage. Il n'y a pas d'enzymes autodestructrices dans les solutions préparées à partir des comprimés, la principale réaction possible qui mène à la dégradation de la vitamine C est donc une réaction radicalaire.



<sup>18</sup> TOGO, Hideo, *Advanced free radical reactions for organic synthesis*, Amsterdam, Elsevier, 2004, p.14

Cette diminution importante de concentration de vitamine C dans les premiers instants peut aussi être résultante d'une erreur systématique de manipulation. D'ailleurs, les petits ajustements ont suivi les premiers dosages. Lors des premiers dosages, pour avoir une précision maximale, ce sont par quart et demi de gouttes de  $\text{CuSO}_4$  que le dosage s'est déroulé. Cependant, cette précision demande plus de temps de manipulation et lorsque le temps du dosage est long, le temps n'est plus aussi précis. De plus, comme le dosage se fait à la température pièce, plus la solution reste longtemps, plus elle n'est pas à la température dans laquelle elle devrait être entreposée. Donc, dans les prochains dosages, les résultats sont seulement précis aux gouttes complètes. Le point de virage peut donc être un peu dépassé d'une partie d'une goutte en faisant cela, ce qui fait en sorte que les concentrations de vitamine C après sont légèrement plus grandes par rapport aux premiers dosages.

Les constantes de vitesse de la dégradation de la vitamine C ont été trouvées pour les quatre températures. En changeant les unités, il est possible d'avoir une idée de l'ordre d'importance du facteur température. Sans présence d'enzymes autodestructrices, de lumière et en contrôlant le contact à l'air, même à une température de  $40^\circ\text{C}$ , la vitesse de dégradation est à  $0,010\%$  (m/m)/jour, ce qui veut dire qu'en 10 jours, une solution préparée à partir d'un comprimé contenant 1000 mg d'acide ascorbique en perd 1 mg.

Cependant, les fruits contiennent souvent beaucoup moins qu'un comprimé et qu'il y a des pertes dues à la cueillette prématurée, aux enzymes autodestructrices et à l'exposition au soleil, à l'humidité et à l'air. En plus, de nos jours, de plus en plus de fruits exotiques viennent d'un pays lointain. Le temps de transport défavorise la conservation. À  $3^\circ\text{C}$ , la vitesse de dégradation est environ 4 fois plus petite qu'à  $40^\circ\text{C}$ . La température joue donc un rôle plus important. Il y a également une raison plus pratique de préférer la conservation au réfrigérateur plutôt qu'au congélateur malgré les différences non significatives résultant de l'expérience. Un fruit sorti du réfrigérateur a un meilleur goût comparé à un autre dégelé.

L'expérience comporte plusieurs autres sources d'erreurs. Tout d'abord, l'humidité influence aussi la vitesse de dégradation de vitamine C.<sup>19</sup> Par exemple, il est fort probable qu'il soit plus humide dans le congélateur que dans l'étuve. Le matériel utilisé a également des limites, pour que le temps de manipulation soit le plus court possible, le dosage n'est pas aussi précis aux demi-gouttes, mais plutôt à chaque deux ou trois gouttes. L'approximation permet donc de comparer les quatre températures et d'avoir une idée de la dégradation de la vitamine C à ces températures, mais il n'est pas possible de calculer une constante de vitesse à une température sans se procéder à une expérimentation. Finalement, la vitamine C ne réagit pas à la même vitesse avec tous les radicaux libres<sup>20</sup> et il est impossible de savoir quels radicaux libres dans l'air réagissent avec la vitamine C à chaque instant. La constante de vitesse peut être légèrement différente des résultats, mais sous les mêmes conditions, les mêmes rapports aux températures devraient être toujours respectés.

Afin d'augmenter l'exactitude des données, il est possible de répéter chaque dosage trois fois de suite. Une minute de plus dans l'air ambiant est une erreur acceptable. En faisant la moyenne de trois dosages de suite, il n'y aura pas de données aberrantes. En revanche, il faudrait augmenter le volume de solution initiale à 500 mL. De plus, puisque le changement de phase semble avoir une influence particulière inconnue sur la dégradation de la vitamine C. Comme les interactions intermoléculaires changent de l'état liquide à l'état solide, la dynamique entre les molécules d'acide ascorbique change et on voit alors une différence dans la cinétique chimique. Afin de mieux déterminer l'effet de la cristallisation, il faudrait observer la dégradation à plusieurs températures au-dessus et au-dessous de 0°C et prendre le point de congélation en groupe témoin.

---

<sup>19</sup> UNIVERSALIS, [<http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/ascorbique-vitamine-c/>]

<sup>20</sup> SOCIETY FOR FREE RADICAL BIOLOGY AND MEDICINE, *Ascorbate (Vitamin C) its Antioxidant Chemistry*, [PPT]. [[www.sfrbm.org/frs/BuettnerAscorbateChemistry.ppt](http://www.sfrbm.org/frs/BuettnerAscorbateChemistry.ppt)].(Consulté le 24 janvier 2013)

La dégradation de la vitamine C ne se fait pas seulement grâce aux radicaux libres. En effet, il y a des enzymes destructrices de vitamine C, ascorbiqueoxydases, qui sont dans les fruits et elles dégradent la vitamine dès que ceux-ci sont cueillis.<sup>21</sup> La dégradation de la vitamine C résulte de deux réactions (avec enzymes autodestructrices et avec radicaux libres), afin de bien peser l'importance de ces deux réactions, une expérience avec des jus de différents fruits fraîchement extrait devrait être réalisée. De plus, la vitesse dans une orange est protégée par l'acidité naturelle et par la peau épaisse du fruit qui constitue une barrière efficace vis-à-vis l'air.<sup>22</sup> Il peut également y avoir une déshydratation du fruit après un certain temps et la peau peut vieillir et pourrir. Enfin, la présence des ascorbiqueoxydases fait en sorte que la température froide n'est pas le moyen le plus efficace pour conserver la vitamine C. Il y a une méthode de blanchiment ou ébouillantage, qui consiste en une précuisson de quelques minutes suivie d'un refroidissement rapide. Cela a pour but de détruire les enzymes destructrices de vitamine C en sacrifiant le minimum.<sup>23</sup> Bref, la constante de vitesse de dégradation serait certainement différente de celle d'une solution préparée à partir d'un comprimé.

---

<sup>21</sup> CORSON, Pierre, *op.cit.*, p.153

<sup>22</sup> MOKRINI, Redouane, *Mécanisme radicalaire dans la dégradation de composés phénoliques en chimie sous rayonnement : radiolyse gamma des chalcones et de l'acide derulique en solutions alcooliques*, [En ligne]. 28 avril 2006, [<http://epublications.unilim.fr/theses/2006/mokrini-redouane/mokrini-redouane.pdf>]. (Consulté le 24 janvier 2013)

<sup>23</sup> CORSON, Pierre, *op.cit.*, p.118

## CONCLUSION

L'hypothèse est que plus la température serait élevée, plus la vitesse de dégradation sera grande. Ayant une même solution initiale, la concentration de vitamine C qui reste d'une solution entreposée à une température plus élevée à la fin de l'expérimentation doit être plus petite. Selon le graphique, cette hypothèse semble confirmée. Les coefficients de corrélation plus grands que 0,9 démontrent que les points sont bien autour de la droite de tendance et que la dégradation de la vitamine C est d'ordre 0, donc ne dépend pas de la concentration d'un réactif en particulier. La vitesse étant constante. Les valeurs de constante de vitesse sont respectivement  $3,0 \times 10^{-5}$  mol/(L·h) à 40°C,  $2,0 \times 10^{-5}$  mol/(L·h) à la température de la pièce située entre 18-25°C dans cette expérience,  $8,4 \times 10^{-6}$  mol/(L·h) à 3°C et  $1,0 \times 10^{-5}$  mol/(L·h) à -18°C.

Cependant, les courbes représentant la dégradation de la vitamine C à deux températures plus froides autour du point de congélation ne se distinguent pas assez l'une de l'autre. Puisqu'il y a un changement de phase qui se produit entre les deux températures, son effet doit être pris en compte. Les mouvements intermoléculaires n'étant plus les mêmes, la vitesse de dégradation sera sûrement affectée d'un facteur de plus. Il est donc très difficile de dire que 3°C est la température de conservation optimale.

Une expérience avec plus de températures autour de 0°C devrait être réalisée afin de déterminer l'effet de la congélation sur la dégradation de la vitamine C. De plus, cette expérience devrait être réalisée en utilisant des jus de fruits au lieu des solutions de vitamine C synthétisée pour observer la réaction par enzymes autodestructrices. L'expérience peut aussi être prolongée jusqu'à un mois pour voir si le croisement des droites de tendance aura encore lieu. On devrait également titrer plus fréquemment afin de vérifier si la vitesse de dégradation a de petites variations ou non. Par exemple,



est-ce que la diminution plus importante en début du changement de température est une erreur systématique de cette expérience ou bien fait partie du phénomène observé.

Certains auteurs pensent que cela limite leur rôle d'antioxydant parce que l'acide ascorbique et ses dérivés, les ascorbates, peuvent produire un radical libre, le radical ascorbyl, en présence de fer et d'oxygène.<sup>24</sup> Pourtant, la vitamine C joue un rôle important dans la synthèse de l'hémoglobine. Le fer est un atome faisant partie de cette protéine et l'oxygène est ce que cette protéine transporte dans le corps humain. Une expérience avec contrôle d'oxygène et introduction de fer pourrait être intéressante pour vérifier cette propriété.

3499 mots

---

<sup>24</sup> MORELLE, Jean, *L'oxydation des aliments et la santé : prévention des dangers de l'agression oxydative alimentaire par le bon usage des fruits et des légumes*, Paris, F.-X. de Guibert, 2003, p.56

## BIBLIOGRAPHIE

### *Encyclopédie*

1. UNIVERSALIS, [<http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/ascorbique-vitamine-c/>]

### *Livres*

2. CAMEROUN Ewan et Linus PAULING, *La vitamine C contre le cancer*, Saint-Lambert, L'étincelle, 1982, 333p.
3. CORSON, Pierre, *Notre ange gardien la vitamine C & ses alliés indispensables à la santé*, Paris, Guy Trédaniel éditeur, 1995, 364p.
4. DAVIES, Michael B., AUSTIN John et David A. Partridge, *Vitamin C : its chemistry and biochemistry*, The Cambridge, Royal Society of Chemistry, 1991, 132p.
5. HOUÉE-LEVIN, Chantal, *Chimie et biochimie radicalaire*, Paris, Belin, 2005, 160p.
6. MORELLE, Jean, *L'oxydation des aliments et la santé : prévention des dangers de l'agression oxydative alimentaire par le bon usage des fruits et des légumes*, Paris, F.-X. de Guibert, 2003, 257p.
7. RUEFF, Dominique, *Vitamine C : pour tous et pour la vie*, Genève, Édition Jouvence, 2000, p.18
8. TOGO, Hideo, *Advanced free radical reactions for organic synthesis*, Amsterdam, Elsevier, 2004, 258p.

### *Internet*

9. ASSIRY, AlHussein M. et al., *Influence of temperature, electrical conductivity, power and pH on ascorbic acid degradation kinetics during ohmic heating using stainless steel electrodes*, [En ligne]. 14 February 2005,

- [[http://faculty.ksu.edu.sa/Assiry/Documents/infl%20of%20temp %20power%20ph%20on%20AA%20deg%20kinetics%20paper.pdf](http://faculty.ksu.edu.sa/Assiry/Documents/infl%20of%20temp%20power%20ph%20on%20AA%20deg%20kinetics%20paper.pdf)]. (Consulté le 30 avril 2012)
10. CHIMIX, *La vitamine C; spectrophotomètre*, [En ligne]. [<http://www.chimix.com/an6/bts6/cosm.htm>]. (Consulté le 20 novembre 2012)
  11. DICO-VITAMINE, *Vitamine C (acide ascorbique)*, [En ligne]. 2011, [<http://dico-vitamines.com/vitamines-hydrosolubles/la-vitamine-c-acide-ascorbique/>]. (Consulté le 16 avril 2012)
  12. MOKRINI, Redouane, *Mécanisme radicalaires dans la dégradation de composés phénoliques en chimie sous rayonnement : radiolyse gamma des chalcones et de l'acide derulique en solutions alcooliques*, [En ligne]. 28 avril 2006, [<http://epublications.unilim.fr/theses/2006/mokrini-redouane/mokrini-redouane.pdf>]. (Consulté le 24 janvier 2013)
  13. R. CVETKOVIC Biljana and Marija R JOKANOVIC, *Effect of preservation method and storage condition on ascorbic acid loss in beverages*, [En ligne]. 26 February 2009, [<http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/1450-7188/2009/1450-71880940001C.pdf>]. (Consulté le 30 avril 2012)
  14. THE ESSAY SITE TEACHERS RECOMMEND, *Show how heat affects ascorbic acid*, [En ligne]. 05 mars 2004, [[http://www.coursework.info/GCSE/Chemistry/Aqueous\\_Chemistry/Show\\_how\\_heat\\_affects\\_ascorbic\\_acid\\_L58038.html](http://www.coursework.info/GCSE/Chemistry/Aqueous_Chemistry/Show_how_heat_affects_ascorbic_acid_L58038.html)]. (Consulté le 29 avril 2012)
  15. SANTÉ CANADA, *Monographie - Vitamine C*, [En ligne]. 13 septembre 2007, [[http://www.hc-sc.gc.ca/dhp-mps/prodnatur/applications/licen-prod/monograph/mono\\_vitamin\\_c-fra.php](http://www.hc-sc.gc.ca/dhp-mps/prodnatur/applications/licen-prod/monograph/mono_vitamin_c-fra.php)]. (Consulté le 27 janvier 2013)
  16. SOCIETY FOR FREE RADICAL BIOLOGY AND MEDICINE, *Ascorbate (Vitamin C) its Antioxidant Chemistry*, [PPT]. [[www.sfrbm.org/frs/BuettnerAscorbateChemistry.ppt](http://www.sfrbm.org/frs/BuettnerAscorbateChemistry.ppt)]. (Consulté le 24 janvier 2013)

*Articles de périodique*

1. BRAND-WILLIAMS W., CUVELIER M. E. et BERSET C., «Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity», *Lebensmittel - Wissenschaft + Technologie*, Volume 28, n°1, p. 25-30, 1995
2. THOMAS Paul et T. Janave MACHHINDRA, «Effects of gamma irradiation and storage temperature on carotenoids and ascorbic acid content of mangoes on ripening», *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Volume 26, Issue 10, p.1503-1512, October 1975

## ANNEXES

## *Annexe I : matériel et méthode (protocole détaillé)*

### **Matériel**

#### Liste des instruments :

- ✓ 1 burette de 50 mL
- ✓ 1 support universel
- ✓ 1 pince à burette
- ✓ 5 pipettes de 2, 5, 10, 25 et 50 mL
- ✓ 6 béchers de 100 mL
- ✓ 1 bécher de 600 mL
- ✓ 1 bécher de 1000 mL
- ✓ 1 erlenmeyer de 125 mL
- ✓ 5 ballons jaugés de 250 mL
- ✓ 1 tige agitatrice
- ✓ 1 plaque chauffante
- ✓ 1 flacon d'eau distillée
- ✓ 1 thermomètre
- ✓ papier d'aluminium
- ✓ étuve réglée à 40°C
- ✓ réfrigérateur réglé à 3°C
- ✓ congélateur réglé à -18°C

#### Liste des réactifs :

- ✓ comprimés de vitamine C commercialisée (1000 mg/comprimé)
- ✓ Sulfate de cuivre (II) pentahydraté ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) solide
- ✓ Iodure de potassium (KI) solide

## **Méthode**

### Préparation des solutions de $\text{CuSO}_4$

1. Peser exactement 2,497g de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  à l'aide d'une balance électronique et noter la masse dans le tableau I
2. Dissoudre le  $\text{CuSO}_4$  solide avec environ 50 mL dans un bécher de 100 mL à l'aide d'une tige de verre
3. Transférer la solution de sulfate de cuivre (II) dans un ballon jaugé de 250 mL et compléter jusqu'au trait de jauge à l'aide d'un compte-gouttes
4. Homogénéiser et noter le volume de la solution finale dans le tableau I
5. Prélever 25 mL de solution mère de  $\text{CuSO}_4$  à l'aide d'une pipette et noter le volume dans le tableau II
6. Laisser couler le contenu dans un ballon jaugé de 250 mL et compléter jusqu'au trait de jauge à l'aide d'un compte-gouttes
7. Homogénéiser et noter le volume de la solution diluée dans le tableau II
8. Répéter les étapes 5 à 7 avec les pipettes de 10, 5 et 2 mL

### Préparation des solutions de vitamine C

9. Dissoudre un comprimé de vitamine C avec environ 400 mL dans un bécher de 600 mL
10. Prélever 50 mL de solution de vitamine C concentrée à l'aide d'une pipette et noter le volume dans le tableau III
11. Laisser couler le contenu dans un ballon jaugé de 250 mL et compléter jusqu'au trait de jauge à l'aide d'un compte-gouttes
12. Homogénéiser et noter le volume de la solution diluée dans le tableau III
13. Envelopper le ballon jaugé avec une couche de 2 morceaux de papier d'aluminium sous forme d'un carré (45 cm x 45 cm)
14. Répéter les étapes 10 à 13 trois fois. S'il s'agit de la solution à entreposer à  $-18^\circ\text{C}$ , la solution devra être versée dans un contenant en plastique avant afin de ne pas abimer le verre quand le volume de la solution gelée augmentera

15. Entreposer les ballons jaugés à quatre températures différentes : 40°C (étuve), 18-25°C (température de la pièce), 3°C (réfrigérateur) et -18°C (congélateur)

#### Dosage des solutions de vitamine C

16. Remplir une burette de 50 mL de solution de  $\text{CuSO}_4$ , le fixer droit sur le support universel à l'aide d'une pince à burette et noter le numéro de la solution de  $\text{CuSO}_4$  diluée utilisée à chaque dosage
17. Sortir le ballon jaugé de là où il est entreposé et noter le temps écoulé depuis son entreposage dans le tableau IV (étuve), V (pièce), VI (réfrigérateur) ou VII (congélateur)
18. Verser environ 20 mL de solution de vitamine C dans un bécher de 100 mL
19. Prélever 10 mL de solution de vitamine C à l'aide d'une pipette et noter le volume de solution utilisée dans le même tableau que l'étape 18
20. Ajouter environ 5 g de KI solide et agiter afin de bien dissoudre
21. Ajouter quelques gouttes de solution d'amidon et noter le volume initial de solution de  $\text{CuSO}_4$  dans la burette dans le même tableau que l'étape 18
22. Laisser couler lentement jusqu'à goutte à goutte la solution de  $\text{CuSO}_4$  en ouvrant le robinet de la burette et bien agiter à chaque goutte
23. Lors de l'apparition de la couleur bleue fondée, fermer le robinet. Si la couleur demeure après 30 secondes, arrêter le dosage et noter le volume final de solution de  $\text{CuSO}_4$  dans le même tableau que l'étape 18
24. Répéter les étapes 17 à 23 pour les trois autres solutions entreposées à des températures différentes. S'il s'agit de la solution entreposée à -18°C, le contenant en plastique devra être placé dans l'eau chaude (40 à 70°C) dans un bécher de 1000 mL pendant 5 minutes afin de pouvoir prélever assez de solutions sous forme liquide
25. Répéter les étapes 17 à 24 huit fois sur un intervalle de temps choisi



## *Annexe II: l'expérience avec les oranges fraîches*

### **1. Protocole détaillé**

#### Préparation des solutions de CuSO<sub>4</sub>

*Les étapes 1 à 8 sont identiques dans les deux expériences.*

#### Préparation des oranges

9. Envelopper 35 oranges avec un morceau de papier d'aluminium sous forme d'un carré (45 cm x 45 cm)
10. Entreposer les oranges à quatre températures différentes : 40°C (étuve), 18-25°C (température de la pièce), 3°C (réfrigérateur) et -18°C (congélateur)

#### Dosage des jus d'oranges

11. Remplir une burette de 50 mL de solution de CuSO<sub>4</sub>, le fixer droit sur le support universel à l'aide d'une pince en forme de X et noter le numéro de la solution de CuSO<sub>4</sub> diluée utilisée à chaque dosage
12. Sortir une orange de là où il est entreposé et noter le temps écoulé depuis son entreposage dans le tableau IV (étuve), V (pièce), VI (réfrigérateur) ou VII (congélateur)
13. Couper l'orange en deux et extraire le jus à l'aide d'un extracteur de jus d'agrumes. S'il s'agit de l'orange entreposée à -18°C, l'orange devra être placée dans l'eau chaude (40 à 70°C) dans un bécher de 1000 mL sans le papier d'aluminium pendant 10 minutes
14. Filtrer le jus d'orange extrait à l'aide du coton et d'un entonnoir et le recueillir dans un bécher de 100 mL
15. Prélever 10 mL de jus concentré à l'aide d'une pipette et noter le volume dans le tableau III
16. Laisser couler le contenu dans un ballon jaugé de 50 mL et compléter jusqu'au trait de jauge à l'aide d'un compte-gouttes

17. Homogénéiser et noter le volume de la solution diluée dans le tableau III
18. Prélever 10 mL de jus dilué à l'aide d'une pipette et noter le volume de solution utilisée dans le même tableau que l'étape 10
19. Ajouter environ 5 g de KI solide et agiter afin de bien dissoudre
20. Ajouter quelques gouttes de solution d'amidon et noter le volume initial de solution de  $\text{CuSO}_4$  dans la burette dans le même tableau que l'étape 10
21. Laisser couler lentement jusqu'à goutte à goutte la solution de  $\text{CuSO}_4$  en ouvrant le robinet de la burette et bien agiter à chaque goutte
22. Lors de l'apparition de la couleur bleue fondée, fermer le robinet. Si la couleur demeure après 30 secondes, arrêter le dosage et noter le volume final de solution de  $\text{CuSO}_4$  dans le même tableau que l'étape 10
23. Répéter les étapes 9 à 22 pour les trois autres solutions entreposées à des températures différentes.
24. Répéter les étapes 9 à 23 plusieurs fois sur un intervalle de temps choisi

## 2. Tableaux des données brutes

Tableau aI. Préparation de la solution de sulfate de cuivre (II) mère

Tableau aII. Préparation des solutions de sulfate de cuivre (II) dilués

*(Les tableaux I, II et les calculs reliés sont identiques dans les deux expériences)*

Tableau aIII. Dilution du jus d'orange extrait sans pulpe

Volume de jus d'orange concentrée	Volume final de la solution diluée
mL	mL
$\pm 0.02$	$\pm 0.05$
10.00	50.00

Tableau aIV. Dosage de la vitamine C dans les oranges entreposées dans l'étuve (40°C)

Dosage	Temps écoulé depuis le début de l'entreposage jusqu'au		Vjus dosé	Solution de CuSO <sub>4</sub> utilisée	Vi CuSO <sub>4</sub>	Vf CuSO <sub>4</sub>
	Début de l'extraction du jus	Début du dosage				
#	h : min	h : min	mL	#	mL	mL
<del> </del>	± 0 : 1	± 0 : 1	± 0.02	<del> </del>	± 0.05	± 0.05
1	23 : 18	23 : 32	10.00	1	12.25	15.50
2	28 : 05	28 : 14		3	16.65	33.75
3	47 : 23	47 : 32		3	8.20	24.30
4	50 : 06	50 : 16		3	17.25	31.75
5	142 : 21	142 : 30		3	4.00	19.70
6	146 : 20	146 : 30		3	27.70	45.00
7	165 : 55	165 : 01		2	19.70	27.40

Tableau aV. Dosage de la vitamine C dans les oranges entreposés dans la pièce (18-25°C)

Dosage	Temps écoulé depuis le début de l'entreposage jusqu'au		Vjus dosé	Solution de CuSO <sub>4</sub> utilisée	Vi CuSO <sub>4</sub>	Vf CuSO <sub>4</sub>
	Début de l'extraction du jus	Début du dosage				
#	h : min	h : min	mL	#	mL	mL
<del> </del>	± 0 : 1	± 0 : 1	± 0.02	<del> </del>	± 0.05	± 0.05
1	22 : 34	22 : 58	10.00	2	12.45	23.90
2	27 : 06	27 : 18		2	20.50	30.80
3	47 : 55	48 : 04		2	21.55	29.65
4	51 : 44	51 : 53		2	0.45	9.35
5	142 : 57	143 : 06		3	2.10	14.00
6	146 : 55	147 : 05		3	0.00	21.00
7	165 : 02	165 : 12		4	7.75	48.00

Tableau aVI. Dosage de la vitamine C dans les oranges entreposées dans le réfrigérateur (3°C)

Dosage	Temps écoulé depuis le début de l'entreposage jusqu'au		Vjus dosé	Solution de CuSO <sub>4</sub> utilisée	Vi CuSO <sub>4</sub>	Vf CuSO <sub>4</sub>
	Début de l'extraction du jus	Début du dosage				
#	h : min	h : min	mL	#	mL	mL
<del> </del>	± 0 : 1	± 0 : 1	± 0.02	<del> </del>	± 0.05	± 0.05
1	23 : 55	24 : 10	10.00	2	4.65	11.20
2	27 : 35	27 : 54		2	0.45	6.60
3	47 : 43	47 : 51		3	7.65	28.40
4	50 : 26	50 : 35		3	17.85	34.70
5	142 : 39	142 : 49		3	19.70	35.40
6	146 : 41	146 : 49		4	1.50	38.20
7	166 : 07	166 : 15		2	27.40	34.60

Tableau aVII. Dosage de la vitamine C dans les oranges entreposées dans le congélateur (-18°C)

Dosage	Temps écoulé depuis le début de l'entreposage jusqu'au		Vjus dosé	Solution de CuSO <sub>4</sub> utilisée	Vi CuSO <sub>4</sub>	Vf CuSO <sub>4</sub>
	Début de l'extraction du jus	Début du dosage				
#	h : min	h : min	mL	#	mL	mL
<del> </del>	± 0 : 1	± 0 : 1	± 0.02	<del> </del>	± 0.05	± 0.05
1	24 : 40	25 : 11	10.00	2	11.60	20.20
2	28 : 28	29 : 02		2	6.75	20.00
3	48 : 12	48 : 51		2	12.55	21.65
4	50 : 42	51 : 10		3	8.60	27.30
5	143 : 08	143 : 38		3	14.20	35.20
6	146 : 52	147 : 20		4	1.00	44.50
7	166 : 20	166 : 50		2	10.50	19.50

### 3. Tableaux des données traitées

Tableau aVIII. Concentration des solutions de  $\text{CuSO}_4$  préparées

(Le tableau aVIII(I) et les calculs reliés sont identiques dans les deux expériences)

Tableau aIX. Concentration de la vitamine C dans les oranges entreposées dans l'étuve ( $40^\circ\text{C}$ )

Temps écoulé depuis le début de l'entreposage jusqu'à l'extraction du jus	$V_{\text{moyen}} \text{ CuSO}_4$	[Vitamine C] jus dilué	[Vitamine C] jus concentré
jour	mL	mol/L	mol/L
$\pm 0.0007$	$\pm 0.1$	$\pm 0.00002$	$\pm 0.0001$
0.9708	3.3	0.00065	0.0033
1.1701	17.1	0.00068	0.0034
1.9743	16.1	0.00064	0.0032
2.0875	14.5	0.00058	0.0029
5.913	15.7	0.00062	0.0031

Tableau aX. Concentration de la vitamine C dans les oranges entreposé dans la pièce ( $18-25^\circ\text{C}$ )

Temps écoulé depuis le début de l'entreposage jusqu'à l'extraction du jus	$V_{\text{moyen}} \text{ CuSO}_4$	[Vitamine C] jus dilué	[Vitamine C] jus concentré
jour	mL	mol/L	mol/L
$\pm 0.0007$	$\pm 0.1$	$\pm 0.00002$	$\pm 0.0001$
0.9403	11.5	0.00092	0.0046
1.1292	10.3	0.00082	0.0041
1.9965	8.1	0.00065	0.0032
2.1556	8.9	0.00071	0.0036
5.9563	11.9	0.00048	0.0024

Tableau aXI. Concentration de la vitamine C dans les oranges entreposés dans le réfrigérateur (3°C)

Temps écoulé depuis le début de l'entreposage jusqu'à l'extraction du jus	V <sub>moyen</sub> CuSO <sub>4</sub>	[Vitamine C] jus dilué	[Vitamine C] jus concentré
jour	mL	mol/L	mol/L
± 0.0007	± 0.1	± 0.00002	± 0.0001
1.3715	6.6	0.00052	0.0026
1.1493	6.2	0.00049	0.0025
1.9882	20.8	0.00083	0.0042
2.1014	16.9	0.00067	0.0038
5.9438	15.7	0.00063	0.0031

Tableau aXII. Concentration de la vitamine C dans les oranges entreposés dans le congélateur (-18°C)

Temps écoulé depuis le début de l'entreposage jusqu'à l'extraction du jus	V <sub>moyen</sub> CuSO <sub>4</sub>	[Vitamine C] jus dilué	[Vitamine C] jus concentré
jour	mL	mol/L	mol/L
± 0.0007	± 0.1	± 0.00002	± 0.0001
1.0278	8.6	0.00069	0.0034
1.1861	13.3	0.00106	0.0053
2.0083	9.1	0.00073	0.0036
2.1125	18.7	0.00075	0.0037
5.9639	21.0	0.00084	0.0042

#### 4. Exemples de calcul

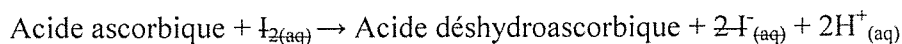
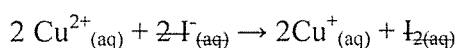
a1. Concentration de la solution de CuSO<sub>4</sub> mère

a2. Concentration de la solution de CuSO<sub>4</sub> diluée (1)

a3. Volume moyen de solution de CuSO<sub>4</sub> utilisée

*(Les calculs 1, 2 et 3 sont identiques dans les deux expériences)*

a4. Concentration de la vitamine C (acide ascorbique) du jus d'orange dilué



Les ions iodure (KI) sont en excès, les ions cuivre II (CuSO<sub>4</sub>) sont limitants.

$$\frac{n_{\text{acide ascorbique}}}{1} = \frac{n_{\text{Cu}^{2+}}}{2}$$

$$C_{\text{acide ascorbique}} = \frac{C_{\text{Cu}^{2+}} \times V_{\text{Cu}^{2+}}}{2 \times V_{\text{acide ascorbique}}} = \frac{0.00400 \text{ M} \times 3.3 \text{ mL}}{2 \times 10.00 \text{ mL}} = 0.00065023$$

$$\frac{\Delta C_{\text{acide ascorbique}}}{C_{\text{acide ascorbique}}} = \frac{\Delta C_{\text{Cu}^{2+}}}{C_{\text{Cu}^{2+}}} + \frac{\Delta V_{\text{Cu}^{2+}}}{V_{\text{Cu}^{2+}}} + \frac{\Delta V_{\text{acide ascorbique}}}{V_{\text{acide ascorbique}}} = \frac{0.00001}{0.00400} + \frac{0.1}{3.3} + \frac{0.02}{10.00} = 0.03533$$

$$\Delta C_{\text{acide ascorbique}} = 0.03533 \times C_{\text{acide ascorbique}} = 0.00002$$

$$C_{\text{acide ascorbique}} = (0.00065 \pm 0.00002) \text{ M}$$

a5. Concentration de la vitamine C (acide ascorbique) du jus d'orange concentré

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

$$C_1 = \frac{C_2 \times V_2}{V_1} = \frac{0.00065 \text{ M} \times 50.00 \text{ mL}}{10.00 \text{ mL}} = 0.003251$$

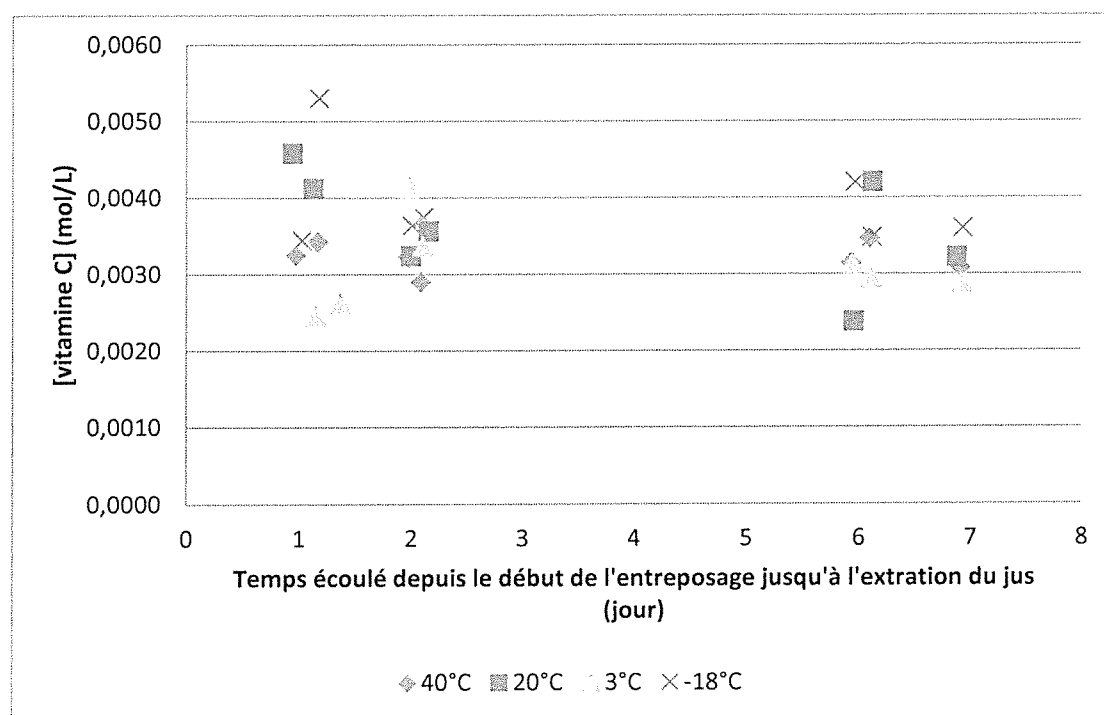
$$\frac{\Delta C_1}{C_1} = \frac{\Delta C_2}{C_2} + \frac{\Delta V_2}{V_2} + \frac{\Delta V_1}{V_1} = \frac{0.00002}{0.00065} + \frac{0.05}{50.00} + \frac{0.02}{10.00} = 0.03833$$

$$\Delta C_1 = 0.03833 \times C_1 = 0.0001$$

$$C_1 = (0.0033 \pm 0.0001) \text{ M}$$

## 5. Graphiques

Graphique aI. Dégradation de vitamine C dans des oranges fraîches entreposées à différentes températures



Même si elles proviennent toutes du même endroit et sont cueillies en même temps (dans la même boîte), les concentrations de vitamine C dans chaque orange sont différentes. Comme le temps coulé n'est pas très long et que la peau protège très bien les agrumes de la dégradation naturelle, la concentration de la vitamine diminue lentement. Si une orange a une concentration initiale en acide ascorbique plus élevée, même après 3 jours, c'est possible que le dosage donne un résultat plus grand comparé à une orange ayant une concentration initiale plus petite qui est restée seulement 1 jour dans le réfrigérateur .

L'expérience avec les solutions de vitamine C est donc réalisée en prévision d'enlever cette erreur.



*Annexe III : tableau des données brutes et exemples de calcul*

Tableau bI. Préparation de la solution mère de sulfate de cuivre (II)

Masse de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Volume finale de la solution mère
g	mL
$\pm 0,001$	$\pm 0,12$
2,498	250,00

Tableau bII. Préparation des solutions de sulfate de cuivre (II) dilués

Solution de $\text{CuSO}_4$	$V_{\text{sol}}^{25}$ mère	$V_{\text{sol}} \text{ finale}$
#	mL	mL
		$\pm 0,12$
1	$25,00 \pm 0,03$	250,00
2	$10,00 \pm 0,02$	250,00
3	$5,00 \pm 0,01$	250,00
4	$2,000 \pm 0,005$	250,00

Tableau bIII. Dilution de la solution de vitamine C

Volume de jus d'orange concentrée	Volume final de la solution diluée
mL	mL
$\pm 0,05$	$\pm 0,12$
50,00	250,00

<sup>25</sup> Pour simplifier l'écriture, «sol» dans les prochaines pages fera référence à solution.

Tableau bIV. Dosage volumétrique<sup>26</sup> de la solution de vitamine C par solution de sulfate de cuivre (II) gardée à l'étuve (40°C) en fonction du temps

Do- sage	Temps écoulé depuis le début de l'entreposage		Solution de CuSO <sub>4</sub> diluée utilisée	V sol vit C	Vi <sup>27</sup> CuSO <sub>4</sub>	Vf CuSO <sub>4</sub>
	#	h				
				mL	mL	mL
				± 0,02	± 0,05	± 0,05
1	0	0	1	10,00	4,10	16,45
2	1	45			17,10	27,20
3	20	15			35,40	43,50
4	46	59			3,25	7,15
5	48	3			39,10	42,70
6	49	55			3,25	6,60
7	69	30			34,20	35,25
8	71	45	2	34,60	36,10	
9	74	8		2,65	3,70	

Tableau bV. Dosage volumétrique de la solution de vitamine C par solution de sulfate de cuivre (II) gardée à la température pièce (18-25°C) en fonction du temps

Do- sage	Temps écoulé depuis le début de l'entreposage		Solution de CuSO <sub>4</sub> diluée utilisée	V sol vit C	Vi CuSO <sub>4</sub>	Vf CuSO <sub>4</sub>
	#	h				
				mL	mL	mL
				± 0,02	± 0,05	± 0,05
1	0	0	1	10,00	4,10	16,45
2	2	57			1,95	12,30
3	21	4			18,80	28,60
4	47	8			7,15	15,15
5	48	12			15,50	23,0
6	50	13			17,05	24,50
7	69	52			12,90	17,55
8	72	16	2	14,30	24,90	
9	74	20		3,65	13,10	

<sup>26</sup> La couleur bleu foncé a été observée à chaque dosage comme indiqué dans le protocole.

<sup>27</sup> Pour simplifier l'écriture, «Vi» dans les prochaines pages fera référence à volume initial. De même que «Vf» fera référence à volume final.

Tableau bVI. Dosage volumétrique de la solution de vitamine C par solution de sulfate de cuivre (II) gardée au réfrigérateur pièce (3°C) en fonction du temps

Do- sage	Temps écoulé depuis le début de l'entreposage		Solution de CuSO <sub>4</sub> diluée utilisée	V sol vit C	Vi CuSO <sub>4</sub>	Vf CuSO <sub>4</sub>
	#	h				
				mL	mL	mL
				± 0,05	± 0,05	± 0,05
1	0	0	1	10,00	4,10	16,45
2	3	4			12,80	24,75
3	20	21			7,55	18,80
4	47	17			15,15	25,70
5	48	20			23,00	33,50
6	50	0			6,60	17,00
7	69	37			35,25	44,70
8	71	57			13,30	22,45
9	74	15			4,20	13,00

Tableau bVII. Dosage volumétrique de la solution de vitamine C par solution de sulfate de cuivre (II) gardée au congélateur (-18°C) en fonction du temps

Do- sage	Temps écoulé depuis le début de l'entreposage		Solution de CuSO <sub>4</sub> diluée utilisée	V sol vit C	Vi CuSO <sub>4</sub>	Vf CuSO <sub>4</sub>
	#	h				
				mL	mL	mL
				± 0.05	± 0.05	± 0.05
1	0	0	1	10,00	4,10	16,45
2	3	13			24,55	37,00
3	21	8			29,85	42,10
4	47	35			25,95	38,75
5	48	30			33,50	43,80
6	50	20			24,50	34,20
7	70	1			17,55	26,35
8	72	25			22,40	32,00
9	74	31			13,50	21,90

**Exemples de calcul :**

1. Concentration de la solution de  $\text{CuSO}_4$  mère

$$[\text{CuSO}_4] = \frac{m_{\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}}{V_{\text{mol}}} = \frac{2,498 \text{ g}}{250,00 \text{ mL}} \times \frac{1000 \text{ mL}}{\text{L}} \times \frac{\text{mol}}{249,71 \text{ g}} = 0,040 \text{ mol/L}$$

$$\Delta [\text{CuSO}_4] = \frac{\Delta m_{\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}}{m_{\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}} + \frac{\Delta V_{\text{sol}}}{V_{\text{sol}}} \times [\text{CuSO}_4] = \frac{0,001}{2,498} + \frac{0,12}{250,00} \times 0,04 = 0,0004$$

$$[\text{CuSO}_4] = (0,0400 \pm 0,0004) \text{ mol/L}$$

2. Concentration de la solution de  $\text{CuSO}_4$  diluée (1)

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

$$[\text{CuSO}_4]_2 = \frac{[\text{CuSO}_4]_1 V_1}{V_2} = \frac{0,0400 \text{ M} \times 25,00 \text{ mL}}{250,00 \text{ mL}} = 0,0040014 \text{ M}$$

$$\begin{aligned} \Delta [\text{CuSO}_4]_2 &= \frac{\Delta [\text{CuSO}_4]_1}{[\text{CuSO}_4]_1} + \frac{\Delta V_1}{V_1} + \frac{\Delta [\text{CuSO}_4]_2}{[\text{CuSO}_4]_2} \times [\text{CuSO}_4]_2 \\ &= \frac{0,0004}{0,0400} + \frac{0,03}{25,00} + \frac{0,12}{250,00} \times 0,0040014 = 0,00001 \end{aligned}$$

$$[\text{CuSO}_4]_2 = (0,00400 \pm 0,00001) \text{ M}$$

3. Temps écoulé depuis le début du dosage

$$t_{\text{écoulé}} = 1 \text{ h} + 45 \text{ min} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 1 \text{ h} + 0,75 \text{ h} = 1,75 \text{ h}$$

$$\Delta t_{\text{écoulé}} = 1 \text{ h}$$

$$t_{\text{écoulé}} = (2 \pm 1) \text{ h}$$

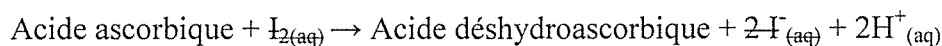
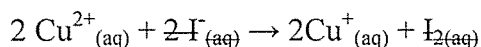
4. Volume de solution de  $\text{CuSO}_4$  utilisée

$$V_{\text{utilisé}} = V_f - V_i = 16,45 \text{ mL} - 4,10 \text{ mL} = 12,35 \text{ mL}$$

$$\Delta V_{\text{utilisé}} = \Delta V_f + \Delta V_i = 0,05 + 0,05 = 0,1$$

$$V_{\text{utilisé}} = (12,4 \pm 0,1) \text{ mL}$$

### 5. Concentration de la vitamine C (acide ascorbique) du jus d'orange dilué



Les ions iodure du KI sont en excès, les ions cuivre (II) du  $\text{CuSO}_4$  pentahydraté sont limitants.

$$\frac{[\text{CuSO}_4]}{\gamma_{\text{CuSO}_4}} = \frac{[\text{Ac. asc.}]}{\gamma_{\text{Ac. asc.}}}$$

$$[\text{Ac. asc.}] = \frac{[\text{CuSO}_4] \times V_{\text{Cu}^{2+}}}{2 \times V_{\text{Ac. asc.}}} = \frac{0,00400 \text{ M} \times 12,4 \text{ mL}}{2 \times 10,00 \text{ mL}} = 0,00247$$

$$\begin{aligned} \Delta[\text{Ac. asc.}] &= \frac{\Delta[\text{CuSO}_4]}{[\text{CuSO}_4]} + \frac{\Delta V_{\text{Cu}^{2+}}}{V_{\text{Cu}^{2+}}} + \frac{\Delta V_{\text{Ac. asc.}}}{V_{\text{Ac. asc.}}} \times C_{\text{Ac. asc.}} \\ &= \frac{0,00001}{0,00400} + \frac{0,1}{12,4} + \frac{0,02}{10,00} \times 0,00247 = 0,00003 \end{aligned}$$

$$[\text{Ac. asc.}] = (0,00247 \pm 0,00003) \text{ mol/L}$$

### 5. Concentration de la vitamine C (acide ascorbique) du jus d'orange concentré

$$[\text{Ac. asc.}]_1 V_1 = [\text{Ac. asc.}]_2 V_2$$

$$[\text{Ac. asc.}]_1 = \frac{[\text{Ac. asc.}]_2 \times V_2}{V_1} = \frac{0,00247 \text{ M} \times 250,00 \text{ mL}}{50,00 \text{ mL}} = 0,0124$$

$$\begin{aligned} \Delta[\text{Ac. asc.}]_1 &= \frac{\Delta[\text{Ac. asc.}]_2}{[\text{Ac. asc.}]_2} + \frac{\Delta V_2}{V_2} + \frac{\Delta V_1}{V_1} \times V_1 \\ &= \frac{0,00003}{0,00247} + \frac{0,12}{250,00} + \frac{0,05}{50,00} \times 0,0124 = 0,0002 \end{aligned}$$

$$[\text{Ac. asc.}]_1 = (0,0124 \pm 0,0002) \text{ mol/L}$$

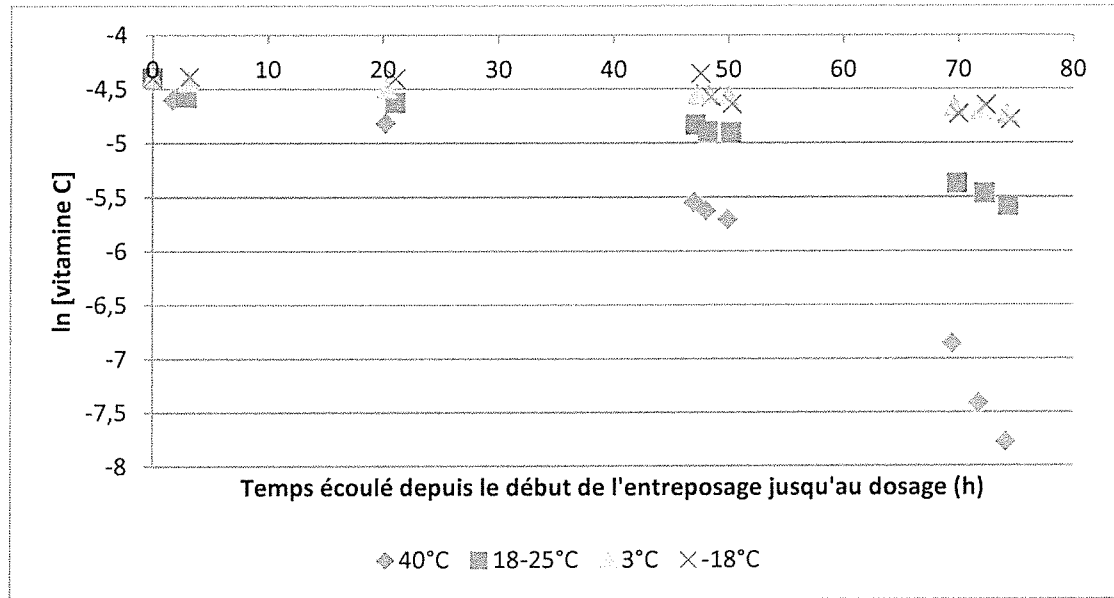
### 6. Vitesse de dégradation

$$\frac{-3,0 \times 10^{-5} \text{ mol}}{\text{L} \times \text{h}} \times \frac{176,124 \text{ g}}{\text{mol}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{\text{g}} \times \frac{\text{L}}{1000 \text{ mL}} \times \frac{\text{mL}}{\text{g}} \times \frac{24 \text{ h}}{\text{jour}} =$$

$$\frac{-0,13 \text{ mg}}{\text{g} \times \text{jour}} = \frac{-0,13 \text{ mg}}{1000 \text{ mg} \times \text{jour}} = \frac{-0,013 \text{ mg}}{100 \text{ mg} \times \text{jour}} = \frac{1,3 \times 10^{-2} \%(\text{m/m})}{\text{jour}}$$

**Annexe IV : graphiques de dégradation de la vitamine C en supposant que la réaction est d'ordre 1 ou 2**

Graphique bI. La dégradation de la vitamine dans une solution aqueuse en fonction du temps à différentes températures (En supposant que la réaction est d'ordre 1)



Graphique bII. La dégradation de la vitamine dans une solution aqueuse en fonction du temps à différentes températures (En supposant que la réaction est d'ordre 2)

