

## CINÉTIQUE ET ÉQUILIBRE CHIMIQUE



# TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS

1 <b>IA</b>	2 <b>IIA</b>	13 <b>IIIA</b>	14 <b>IVA</b>	15 <b>VA</b>	16 <b>VIA</b>	17 <b>VIIA</b>	18 <b>VIIIA</b>
1 <b>H</b> Hydrogène 1,01	2 <b>He</b> Hélium 4,00	5 <b>B</b> Bore 10,81	6 <b>C</b> Carbone 12,01	7 <b>N</b> Azote 14,01	8 <b>O</b> Oxygène 16,00	9 <b>F</b> Fluor 19,00	10 <b>Ne</b> Néon 20,18
3 <b>Li</b> Lithium 6,94	4 <b>Be</b> Béryllium 9,01	11 <b>Na</b> Sodium 22,99	12 <b>Mg</b> Magnésium 24,31	13 <b>Al</b> Aluminium 26,98	14 <b>Si</b> Silicium 28,09	15 <b>P</b> Phosphore 30,97	16 <b>S</b> Soufre 32,06
19 <b>K</b> Potassium 39,10	20 <b>Ca</b> Calcium 40,08	21 <b>Sc</b> Scandium 44,96	22 <b>Ti</b> Titane 47,88	23 <b>V</b> Vanadium 50,94	24 <b>Cr</b> Chrome 52,00	25 <b>Mn</b> Manganèse 54,94	26 <b>Fe</b> Fer 55,85
37 <b>Rb</b> Rubidium 85,47	38 <b>Sr</b> Strontium 87,62	39 <b>Y</b> Yttrium 88,91	40 <b>Zr</b> Zirconium 91,22	41 <b>Nb</b> Niobium 92,91	42 <b>Mo</b> Molybdène 95,95	43 <b>Tc</b> Technétium (98)	44 <b>Ru</b> Ruthénium 101,07
55 <b>Cs</b> Césium 132,91	56 <b>Ba</b> Baryum 137,33	57 <b>La</b> Lanthane 138,91	72 <b>Hf</b> Hafnium 178,49	73 <b>Ta</b> Tantale 180,95	74 <b>W</b> Tungstène 183,84	75 <b>Re</b> Rhenium 186,21	76 <b>Os</b> Osmium 190,23
87 <b>Fr</b> Francium (223)	88 <b>Ra</b> Radium (226)	89 <b>Ac</b> Actinium (227)	104 <b>Rf</b> Rutherfordium (267)	105 <b>Db</b> Dubnium (268)	106 <b>Sg</b> Seaborgium (271)	107 <b>Bh</b> Bohrium (272)	108 <b>Hs</b> Hassium (270)
			113 <b>Uut</b> (Ununtrium) (294)	112 <b>Cn</b> Copernicium (285)	111 <b>Rg</b> Roentgenium (280)	110 <b>Ds</b> Darmstadtium (281)	109 <b>Mt</b> Meitnerium (276)
			114 <b>Fl</b> Flerovium (289)	115 <b>Uup</b> (Ununpentium) (288)	116 <b>Lv</b> Livermorium (293)	117 <b>Uus</b> (Ununseptium) (294)	118 <b>Uuo</b> (Ununoctium) (294)

Numéro atomique — 1 — Symbole  
 Masse atomique — Hydrogène — 1,01

État à 25 °C :  
 (Couleur symbole)

- Solide
- Liquide
- Gazeux

Métaux     
  Métalloïdes     
  Non-métaux

57 <b>La</b> Lanthane 138,91	58 <b>Ce</b> Cérium 140,12	59 <b>Pr</b> Praséodyme 140,91	60 <b>Nd</b> Néodyme 144,24	61 <b>Pm</b> Prométhium (145)	62 <b>Sm</b> Samarium 150,36	63 <b>Eu</b> Europium 151,96	64 <b>Gd</b> Gadolinium 157,25	65 <b>Tb</b> Terbium 158,93	66 <b>Dy</b> Dysprosium 162,50	67 <b>Ho</b> Holmium 164,93	68 <b>Er</b> Erbium 167,26	69 <b>Tm</b> Thulium 168,93	70 <b>Yb</b> Ytterbium 173,05	71 <b>Lu</b> Lutécium 174,97
89 <b>Ac</b> Actinium (227)	90 <b>Th</b> Thorium 232,04	91 <b>Pa</b> Protactinium 231,04	92 <b>U</b> Uranium 238,03	93 <b>Np</b> Neptunium (237)	94 <b>Pu</b> Plutonium (244)	95 <b>Am</b> Américium (243)	96 <b>Cm</b> Curium (247)	97 <b>Bk</b> Berkélium (247)	98 <b>Cf</b> Californium (251)	99 <b>Es</b> Einsteinium (252)	100 <b>Fm</b> Fermium (257)	101 <b>Md</b> Mendélévium (258)	102 <b>No</b> Nobélium (259)	103 <b>Lr</b> Lawrencium (262)

# Cinétique et équilibre chimique

CHI-5062-2

Guide d'apprentissage



# Cinématique et équilibre chimique

Ce guide d'apprentissage a été produit par la Société de formation à distance des commissions scolaires du Québec (SOFAD).

## Équipe de production

Chargé de projets :	Alain Pednault (SOFAD)
Rédaction :	Debby Correia Ledo
Illustration :	Marc Tellier
Révision de contenu :	Josée Locas Gilles St-Louis
Révision linguistique :	Johanne St-Martin
Maquette graphique, mise en page et infographie :	Daniel Rémy (I. D. Graphique inc.)
Lecture d'épreuves :	Johanne St-Martin
Première parution :	Septembre 2016

Dans cette production, la rédaction épïcène assure l'équilibre de la représentation des hommes et des femmes.

© SOFAD, 2016

Tous droits de traduction et d'adaptation, en totalité ou en partie, réservés pour tous pays.

Toute reproduction, par procédé mécanique ou électronique, y compris la microreproduction, est interdite sans l'autorisation écrite d'un représentant dûment autorisé de la SOFAD.

Nonobstant cet énoncé, la reproduction des activités notées est autorisée uniquement pour les besoins des utilisateurs du guide de la SOFAD correspondant.

Cet ouvrage est financé par le Ministère de l'Éducation, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche du Québec.

Dépôt légal - 2016

Bibliothèque et Archives nationales du Québec

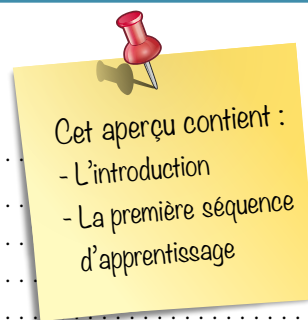
Bibliothèque et Archives Canada

ISBN : 978-2-89493-528-6 (imprimé)

ISBN : 978-2-89493-537-8 (numérique)

**Septembre 2016**

# Table des matières



<b>Introduction</b> .....	v
<b>Séquence ❶ - Encore et toujours plus vite</b> .....	2
En route vers l'activité notée 1. ....	4
Exploration .....	6
Activité 1.1 Un débit moléculaire .....	7
Activité 1.2 La vitesse, c'est une question de goût! .....	28
Activité 1.3 Tomber dans les pommes... ..	47
Exercices d'intégration .....	49
Résumé des nouveaux savoirs .....	60
<b>Séquence ❷ - Quand vitesse rime avec évolution</b> .....	64
En route vers l'activité notée 1 (suite) .....	66
Exploration .....	68
Activité 2.1 Une rémission cinétique .....	70
Activité 2.2 Une carence en magnésium .....	91
Activité 2.3 Un carambolage chimique. ....	94
Exercices d'intégration .....	104
Résumé des nouveaux savoirs .....	111
<b>Activité notée 1</b> .....	112
<b>Séquence ❸ - À la conquête de l'équilibre</b> .....	114
En route vers l'activité notée 2. ....	116
Exploration .....	118
Activité 3.1 De gauche à droite ou de droite à gauche? .....	119
Activité 3.2 Abracadabra et la couleur fut! .....	135
Activité 3.3 L'équilibre de l'art .....	138
Exercices d'intégration .....	150
Résumé des nouveaux savoirs .....	154
<b>Séquence ❹ - Action, réaction!</b> .....	156
En route vers l'activité notée 2 (suite) .....	158
Exploration .....	160
Activité 4.1 Un équilibre déséquilibré .....	161
Activité 4.2 Faux sang. ....	189
Exercices d'intégration .....	192
Résumé des nouveaux savoirs .....	200
<b>Activité notée 2</b> .....	200
<b>Séquence ❺ - Un équilibre quantifiable</b> .....	202
En route vers l'activité notée 3. ....	204
Exploration .....	206
Activité 5.1 Une constante en équilibre. ....	208
Activité 5.2 Un calcul douloureux .....	237
Activité 5.3 Une base qui n'est pas piquée des « verres ». ....	252
Exercices d'intégration .....	255
Résumé des nouveaux savoirs .....	262
<b>Activité notée 3</b> .....	264

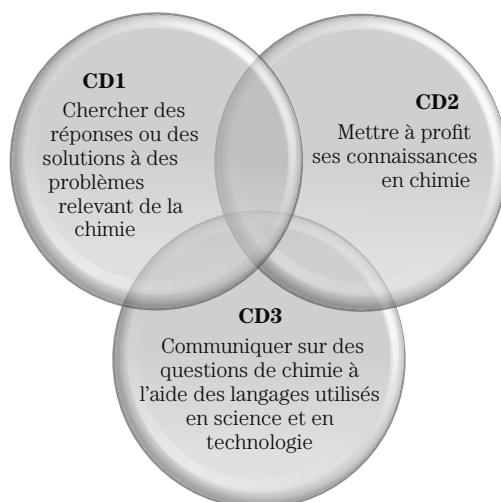
<b>Séquence 6 - Des funambules acidobasiques</b> .....	266
En route vers l'activité notée 4. ....	268
Exploration .....	270
Activité 6.1 L'équilibre acidobasique .....	271
Activité 6.2 Le pH-mètre des industries Beckman .....	289
Activité 6.3 Opération beurre d'arachide. ....	292
Exercices d'intégration .....	319
Résumé des nouveaux savoirs .....	324
<b>Activité notée 4</b> .....	326
<b>Conclusion</b> .....	327
<b>Autoévaluation</b> .....	329
Section A : Évaluation explicite des connaissances .....	330
Section B : Évaluation des compétences : Le procédé Haber .....	343
Grille d'autoévaluation .....	352
<b>Corrigé</b> .....	357
<b>1 - Encore et toujours plus vite</b> .....	358
<b>2 - Quand vitesse rime avec évolution</b> .....	377
<b>3 - À la conquête de l'équilibre</b> .....	392
<b>4 - Action, réaction!</b> .....	403
<b>5 - Un équilibre quantifiable</b> .....	417
<b>6 - Des funambules acidobasiques</b> .....	436
<b>Autoévaluation</b> .....	453
<b>Lexique</b> .....	463
<b>Annexes</b> .....	471
Annexe A : Notions préalables .....	472
Annexe B : Grandeurs, unités, équations et constantes .....	477
Annexe C : Constantes du produit de solubilité ( $K_{ps}$ ) à 25 °C .....	480
Annexe D : Constantes d'acidité ( $K_a$ ) et constantes de basicité ( $K_b$ ) .....	483
Annexe E : Charges de quelques ions communs. ....	485
Annexe F : Chiffres significatifs et arrondi .....	486
<b>Fiche de rétroaction</b> .....	489

# Introduction

**B**ienvenue dans le cours *Cinétique et équilibre chimique*, qui fait suite à *Propriétés des gaz et énergie chimique*. La chimie est une science qui étudie les interactions entre les éléments et la transformation des composés qui en résultent. Dans le présent guide, on s'attardera à l'étude de la vitesse de réaction des transformations chimiques et de l'état d'équilibre des réactions qui sont réversibles. On traitera de la loi des vitesses de réaction, des constantes d'équilibre, des facteurs qui influent sur la vitesse de réaction et sur l'état d'équilibre, du principe de Le Châtelier, ainsi que de la relation entre le pH et la concentration molaire des ions hydronium et hydroxyde d'une solution.



Mais au-delà de la simple acquisition de connaissances, vous serez appelé à développer ou à renforcer les trois compétences disciplinaires (CD) suivantes :



La CD1 sera sollicitée par la réalisation de tâches dans des activités expérimentales, comme étudier l'équilibre chimique de la réaction de synthèse de faux sang pour des effets spéciaux dans une télé-série. Quant à la CD2, elle sera sollicitée en complétant des tâches dans des situations réalistes et complexes, comme décrire le comportement de l'équilibre chimique impliqué dans la réalisation d'un pigment coloré utilisé dans la restauration d'une toile de Renoir. Pour chacune de ces deux compétences, vous mettrez en application la CD3 en expliquant des résultats ou en argumentant des choix. Par exemple, vous aurez à proposer des recommandations pour obtenir une belle coloration de morceaux de bœuf qui seront utilisés lors d'une séance photo pour une revue culinaire. Ces compétences seront aussi touchées lors des activités d'évaluation présentées au cours de vos apprentissages, soit quatre activités notées et une autoévaluation.

## Les savoirs et les techniques

Les nouveaux savoirs que vous devrez acquérir touchent l'univers matériel et sont regroupés en trois grands concepts généraux. Il y a le concept de vitesse de réaction qui favorise une meilleure compréhension de la nature dynamique de l'équilibre et qui, formulée en une loi des vitesses de réaction, conduit à l'expression mathématique des constantes d'équilibre. Puis il y a le concept de l'équilibre chimique et des facteurs qui influencent cet équilibre qui permettent une meilleure compréhension de phénomènes chimiques; le principe de Le Châtelier permet même de prévoir l'évolution de ces phénomènes dont les conditions ont été modifiées. Quant aux techniques à acquérir, elles renvoient à des procédés méthodiques qui balisent la mise en application de connaissances théoriques en laboratoire, plus spécifiquement : l'utilisation sécuritaire du matériel de laboratoire; la collecte d'échantillons; la préparation de solutions; la vérification de la fidélité, de la justesse et de la sensibilité des instruments de mesure; puis l'interprétation des résultats de la mesure.

Le tableau suivant présente la répartition des nouveaux savoirs et des techniques prescrits dans les six séquences d'apprentissage de ce guide.

**RÉPARTITION DES NOUVEAUX SAVOIRS ET DES TECHNIQUES PRESCRITS.**

SÉQUENCE D'APPRENTISSAGE	SAVOIRS	TECHNIQUES
<p><b>1</b></p> <p>Encore et toujours plus vite</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Facteurs qui influent sur la vitesse de réaction : nature des réactifs, concentration, surface de contact, température, catalyseur.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilisation sécuritaire du matériel de laboratoire.</li> <li>Préparation de solutions.</li> <li>Interprétation des résultats de la mesure.</li> </ul>
<p><b>2</b></p> <p>Quand vitesse rime avec évolution</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Loi des vitesses de réaction.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilisation sécuritaire du matériel de laboratoire.</li> <li>Collecte d'échantillons.</li> <li>Préparation de solutions.</li> <li>Vérification de la fidélité, de la justesse et de la sensibilité des instruments de mesure.</li> <li>Interprétation des résultats de la mesure.</li> </ul>
<p><b>3</b></p> <p>À la conquête de l'équilibre</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Facteurs qui influent sur l'état d'équilibre : concentration.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilisation sécuritaire du matériel de laboratoire.</li> <li>Préparation de solutions.</li> <li>Interprétation des résultats de la mesure.</li> </ul>



SÉQUENCE D'APPRENTISSAGE	SAVOIRS	TECHNIQUES
<p style="text-align: center;"><b>4</b></p> <p style="text-align: center;">Action, réaction!</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Facteurs qui influent sur l'état d'équilibre : concentration, température, pression.</li> <li>Principe de Le Châtelier.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilisation sécuritaire du matériel de laboratoire.</li> <li>Collecte d'échantillons.</li> <li>Préparation de solutions.</li> <li>Interprétation des résultats de la mesure.</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>5</b></p> <p style="text-align: center;">Un équilibre quantifiable</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Constante d'équilibre : constante du produit de solubilité (<math>K_{ps}</math>).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilisation sécuritaire du matériel de laboratoire.</li> <li>Collecte d'échantillons.</li> <li>Préparation de solutions.</li> <li>Interprétation des résultats de la mesure.</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>6</b></p> <p style="text-align: center;">Des funambules acidobasiques</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Constante d'équilibre : constante d'ionisation de l'eau (<math>K</math>), constante d'acidité (<math>K_a</math>), constante de basicité (<math>K_b</math>).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilisation sécuritaire du matériel de laboratoire.</li> <li>Collecte d'échantillons.</li> <li>Préparation de solutions.</li> <li>Interprétation des résultats de la mesure.</li> </ul>

## Structure du guide et consignes d'utilisation

Ce guide d'apprentissage est un instrument qui tend à respecter à la fois les caractéristiques principales de l'apprentissage individualisé et de l'apprentissage en situations concrètes et réalistes. Il peut être utilisé tant dans un contexte de formation à distance qu'en formation en établissement.

Ainsi, par ces modes d'apprentissage, on veut favoriser chez vous :

- la plus grande participation possible;
- la prise en charge de votre cheminement;
- le respect de votre rythme;
- la mise à profit de votre expérience et de vos connaissances.

Vous pourrez, tout au long de votre cheminement, faire la constatation de vos succès ou de vos échecs, déterminer les causes de ceux-ci ainsi que les moyens à prendre pour continuer à progresser dans votre apprentissage. Un formateur ou une formatrice est à votre disposition pour vous soutenir et vous éclairer dans votre cheminement. Si une notion vous semble plus difficile, il ne faut pas hésiter à avoir recours à cette aide précieuse.

## Les séquences d'apprentissage (SA)

Il y a en tout six séquences d'apprentissage (SA) dans lesquelles vous serez amené à découvrir de nouveaux savoirs et à les appliquer avec compétence. Chaque SA est construite de façon similaire. Elle comporte d'abord une présentation où figure le sujet de la séquence. Suit l'exploration, partie qui vous permettra de tester vos connaissances sur des concepts qui seront utiles dans la séquence d'apprentissage. Suit ensuite une série d'activités de trois types : activité d'acquisition de connaissances, activité expérimentale et activité d'expertise en situation.



activité d'acquisition de connaissances



activité d'expertise en situation



activité expérimentale

L'activité d'acquisition de connaissances est axée sur la découverte active de nouveaux savoirs tandis que les deux autres activités vous amènent à développer vos compétences en réalisant des tâches plus complexes. Ainsi, l'activité expérimentale vous mènera à développer principalement la compétence CD1. Quant à l'activité d'expertise en situation, la tâche à réaliser vous mènera à développer principalement la compétence CD2. Quant à la compétence CD3, elle est nécessairement développée dans toutes les activités proposées.

Au fil des activités, vous serez invité à répondre à des questions qui favoriseront l'acquisition de nouvelles connaissances et le développement de vos compétences. Au premier abord, vous ne serez peut-être pas en mesure de répondre à toutes ces questions. Efforcez-vous tout de même d'y trouver des réponses satisfaisantes, les réponses et des explications complémentaires suivent immédiatement après. Il est essentiel que vous cherchiez à comprendre tous les nouveaux concepts qui sont expliqués.

À la fin de chaque SA, vous trouverez une série d'exercices d'intégration portant sur l'ensemble des concepts abordés dans la séquence ainsi qu'un résumé des nouveaux savoirs. Ceux-ci vous permettront d'en vérifier votre compréhension.

## L'autoévaluation

L'autoévaluation est construite en deux sections comme l'épreuve d'évaluation aux fins de sanction (c.-à-d. l'épreuve finale du cours) afin de mieux vous y préparer. Avant de vous y attaquer, prenez le temps de relire le résumé des nouveaux savoirs présenté à la fin de chaque séquence d'apprentissage, puis regardez le tableau de la répartition des savoirs aux pages vi et vii. Complétez ensuite l'épreuve d'autoévaluation sans consulter le texte du guide ni le corrigé. Puis, comparez vos réponses avec celles du corrigé de l'autoévaluation et complétez votre étude au besoin.

Une grille d'autoévaluation accompagne cette épreuve. Elle vous servira à déterminer les notions que vous maîtrisez et celles pour lesquelles une révision s'impose avant de vous présenter à l'épreuve finale. Des indications sur les notions à réviser sont fournies à même cette grille.

## Le corrigé

Après l'épreuve d'autoévaluation, vous trouverez la section « Corrigé » du guide. Référez-vous à ce corrigé pour trouver les réponses à chacune des questions numérotées des exercices afin de vous assurer que vous avez bien compris tous les concepts, et ce, avant de passer à l'activité ou la séquence d'apprentissage suivante. À la fin de cette section se trouve également le corrigé de l'épreuve d'autoévaluation.

## Le lexique et les annexes

Le lexique constitue l'avant-dernière partie du guide. Vous y trouverez, classées en ordre alphabétique, les définitions des mots soulignés en pointillé dans les séquences d'apprentissage. N'hésitez pas à le consulter au fil de vos lectures afin de bien comprendre les termes et expressions qui s'y trouvent.

Les annexes regroupent des renseignements utiles ainsi que quelques rappels de notions préalables.

## Activités notées

Le guide est accompagné de quatre activités notées qui sont présentées dans des cahiers séparés, l'une d'elles portant sur une activité expérimentale. Vous aurez à réaliser une activité notée à la suite des SA 2, 4, 5 et 6. Vous trouverez un rappel à cet effet à la fin de chacune de ces SA. Les activités notées ont une fonction d'aide à l'apprentissage; outre l'évaluation explicite des connaissances, elles comportent chacune une situation complexe et signifiante pour évaluer votre compétence à traiter les tâches de ces situations.

Les activités notées font partie intégrante des séquences d'apprentissage proposées et ne constituent pas un ajout facultatif à votre cheminement; vous devez les faire. À cet effet, ces activités sont prévues pour tous les élèves et doivent être évaluées par le tuteur ou la tutrice si vous êtes en formation à distance ou par l'enseignant ou l'enseignante si vous êtes en formation en établissement. Vous devrez donc les lui soumettre car il n'y a que le personnel des établissements d'enseignement qui a accès au corrigé de ces activités.

Il est possible d'acheter les activités notées en version imprimée à faible coût, ou encore de les télécharger gratuitement à cette adresse, sous la rubrique « Formation de base diversifiée » : <http://cours1.sofad.qc.ca/ressources>.

## Évaluation pour fin de sanction

Si vous désirez acquérir les 2 unités rattachées à ce cours, vous devez obtenir une note d'au moins 60 % à l'épreuve finale qui a lieu dans un centre d'éducation des adultes. Pour vous présenter à cette épreuve, il est souhaitable que vous ayez également obtenu une moyenne d'au moins 60 % aux activités notées accompagnant le présent guide. D'ailleurs, certains centres exigent ce résultat pour vous admettre à l'épreuve finale.

L'épreuve finale pour le cours *Cinétique et équilibre chimique* est composée de deux parties, l'une pratique et l'autre théorique. Ces parties sont administrées lors de deux séances distinctes. La partie pratique comporte des tâches que vous devrez réaliser en laboratoire, à partir d'une situation d'application réaliste. La partie théorique est constituée de deux sections, soit l'évaluation explicite des connaissances et l'évaluation des compétences.

## Matériel complémentaire

Ayez sous la main tout le matériel dont vous aurez besoin.

- Une calculatrice, un crayon à mine pour inscrire vos réponses et vos notes dans votre guide, un stylo-bille de couleur pour corriger vos réponses, un surligneur pour souligner les idées importantes, une gomme à effacer, une règle et un rapporteur d'angles, etc.
- La trousse d'expérimentation contenant le matériel nécessaire à la réalisation des activités expérimentales. Vous devrez compléter cette trousse en vous procurant certains items.

## Informations complémentaires concernant la formation à distance

Voici quelques suggestions qui vous aideront à organiser votre temps d'étude. La durée de la formation est évaluée à 50 heures de travail approximativement.

- Établissez un horaire d'étude en tenant compte de vos dispositions et de vos besoins, ainsi que de vos obligations familiales, professionnelles et autres.
- Essayez de consacrer quelques heures par semaine à l'étude, de préférence en blocs de deux heures chaque fois.
- Respectez autant que possible l'horaire que vous avez choisi.

La tutrice ou le tuteur est la personne qui vous guide tout au long de votre apprentissage et vous fournit les conseils, les critiques et les commentaires susceptibles d'assurer le succès de votre projet de formation. N'hésitez pas à communiquer avec cette personne si vous éprouvez des difficultés avec la théorie ou les exercices, ou si vous avez besoin d'encouragement pour poursuivre votre étude. Notez vos questions par écrit et communiquez avec elle pendant ses heures de disponibilité et, au besoin, écrivez-lui. Si ses heures de disponibilité et ses coordonnées ne vous ont pas été transmises, demandez-les au centre où vous êtes inscrit.

Bon apprentissage!

## Aperçu des éléments constituant une séquence d'apprentissage

Le guide comprend sept séquences d'apprentissage. Ici, le numéro de la SA.

Le thème de la SA.

**1** **Encore et toujours plus vite**

**1.1 Un débit moléculaire**  
**Buts** • Définir la vitesse de réaction et en établir l'expression selon la situation.  
 • Représenter graphiquement l'évolution d'une réaction chimique.

**1.2 La vitesse, c'est une question de goût!**  
**Buts** • Établir que la vitesse de réaction peut être influencée par différents facteurs et les nommer.  
 • Comprendre que d'autres facteurs peuvent modifier la vitesse de réaction selon la situation et le type de réaction étudié.  
**Votre tâche** Dans une situation faisant intervenir la réaction de Maillard, vous devrez :  
 • définir les facteurs qui influencent la vitesse de réaction dans la coloration de la viande lors de la cuisson;  
 • comprendre comment ces facteurs agissent sur la cinétique réactionnelle;  
 • formuler des recommandations.

**1.3 Tomber dans les pommes...**  
**But** • Étudier les différents facteurs qui influent sur la vitesse de réaction.  
**Votre tâche** • Vous devrez préparer un tableau comparatif qui vous aidera à choisir les meilleures conditions pour présenter des quartiers de pomme non brunis pour la préparation d'une tarte aux pommes lors d'un concours culinaire.

**L**a vitesse est un concept important qui s'insère dans plusieurs domaines. Par exemple, en milieu industriel, on cherche à contrôler la vitesse de divers procédés afin de réduire les coûts de production. Dans le domaine de l'agroalimentaire, il est parfois pertinent de contrôler la vitesse de croissance des aliments qu'on désire contrôler. Quant au milieu biomédical, la vitesse de propagation d'une maladie ou encore la vitesse séquence d'apprentissage, vous serez amené à définir la notion de vitesse de réaction et à établir les différents facteurs qui peuvent l'influencer.

La liste des activités avec le ou les buts particuliers de chacune ainsi que la tâche associée aux activités expérimentales et aux activités d'expertise en situation.

La mise en situation de la SA.

L'exploration permet de tester certains concepts utiles pour réaliser la SA.

Les réponses aux questions numérotées sont dans le corrigé à la fin du guide.

**Exploration**

Les questions suivantes vous permettront de réviser certains concepts qui vous seront utiles au cours de cette séquence d'apprentissage.

**1.1** Expliquez ce que font les molécules d'eau lorsque l'on fait bouillir de l'eau. Essayez d'inclure au moins un élément en lien avec la cinétique ou la vitesse de collisions des molécules d'eau.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**1.2** Donnez un exemple de vitesse dans les situations ou domaines suivants.

a) Domaine de l'informatique : \_\_\_\_\_


b) Domaine culinaire : \_\_\_\_\_

c) Lors d'une fête foraine : \_\_\_\_\_

Le type d'activité est représenté par la puce foncée.

Le ou les buts à atteindre dans l'activité.

La tâche à réaliser dans l'activité est précisée, s'il y a lieu.



### Activité 1.3 Tomber dans les pommes...


**But**

- Étudier les différents facteurs qui influent sur la vitesse de réaction.

Dans l'activité précédente, vous avez étudié les différents facteurs qui influencent la vitesse de réaction. Dans le cadre d'un concours culinaire, vous avez pour défi de préparer la meilleure tarte aux pommes. Votre défi sera de taille puisque vous devez vous assurer que vos quartiers de pomme ne brunissent pas.

Les pommes, comme plusieurs autres fruits et légumes, brunissent (ou s'oxydent) au contact de l'air une fois pelées et coupées. La chair des pommes s'oxyde au contact de l'oxygène ( $O_2$ ) contenu dans l'air, mais aussi sous l'action d'une enzyme. Lorsque l'on découpe ou que l'on pèle une pomme, la membrane cellulaire se déchire, libérant et dispersant ainsi l'enzyme qui réagit avec les protéines de la chair, d'où le brunissement.

En effectuant une recherche d'information sur Internet, vous apprenez qu'il existe plusieurs astuces pour éviter que les quartiers de pomme ne brunissent. Ces astuces sont toutes différentes les unes des autres et font intervenir les différents facteurs qui influencent la vitesse de réaction et qui ont été étudiés lors de la précédente activité. Vous avez donc l'idée de tester plusieurs de ces méthodes qui permettraient de ralentir la vitesse d'oxydation des quartiers de pomme.



**Votre tâche**

- Vous devrez préparer un tableau comparatif qui vous aidera à choisir les meilleures conditions pour présenter des quartiers de pomme non brunis pour la préparation d'une tarte aux pommes lors d'un concours culinaire.

Pour réaliser cette activité, référez-vous au cahier d'activités expérimentales qui accompagne le guide d'apprentissage. Lorsque votre activité sera complétée, venez répondre aux questions suivantes.


Des exercices d'intégration sont présentés après la dernière activité de la SA et portent sur l'ensemble des concepts et des savoirs abordés au cours de la séquence.

### Exercices d'intégration

**3.44** Parmi les expressions suivantes, choisissez celles qui s'appliquent à un système à l'état d'équilibre.

a) Quantité de matière invariable	f) Concentrations constantes
b) Réaction directe et réaction inverse	g) Entrée en continu de réactifs
c) Quantités égales de réactifs et de produits	h) Système ouvert
d) Réaction réversible	i) Équilibre dynamique
e) État stationnaire	

**3.45** Pour chacun des systèmes suivants, indiquez s'il s'agit d'un système à l'équilibre.



© Tim Masters/Shutterstock.com  
Du bicarbonate de soude qui réagit violemment avec du vinaigre.

a) \_\_\_\_\_



© natavut thammajak/Shutterstock.com  
La présence de gaz et de liquide dans une bombonne d'un gaz quelconque.

b) \_\_\_\_\_

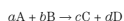
Un résumé des nouveaux savoirs termine la SA et présente les savoirs essentiels abordés au cours de la séquence.

### Résumé des nouveaux savoirs

#### Activité 2.1 – Une rémission cinétique

La vitesse de réaction est proportionnelle à la concentration des réactifs. Toutefois, cette proportionnalité n'est pas nécessairement directe, c'est-à-dire que ce n'est pas parce que la concentration d'un réactif double que la vitesse de réaction double également. Une réaction chimique évolue suivant un facteur de proportionnalité, appelé **constante de vitesse** ( $k$ ), qui témoigne de la relation mathématique entre la vitesse de réaction et la concentration des réactifs. Cette relation mathématique est la **loi de vitesse de réaction**.

Soit la réaction générale suivante :



$$v = k[A]^x[B]^y$$

où  $v$  est la vitesse générale de réaction en mol/L·s (ou unité de temps),  
 $k$  est la constante de vitesse de la réaction,  
 $[A]$  et  $[B]$  sont les concentrations des réactifs en mol/L  
 et  $x$  et  $y$  représentent l'ordre de la réaction par rapport à chacun des réactifs.

Il est à noter que la concentration des réactifs est toujours en mol/L lorsque cette expression mathématique est utilisée pour décrire la vitesse de réaction.

#### Activité 2.3 – Un carambolage chimique

Pour qu'il y ait réaction chimique, il faut que les molécules de réactifs se rapprochent les unes des autres et qu'il y ait collision. La **théorie des collisions** permet donc d'expliquer la vitesse de réaction; cette dernière dépend non seulement du nombre de collisions qu'il y a entre les réactifs, mais aussi de leur efficacité. Deux conditions sont nécessaires pour qu'il y ait **collision efficace** et qu'une réaction chimique se produise :

- les collisions entre les molécules de réactifs doivent se faire selon une géométrie appropriée;
- lorsque les molécules de réactifs entrent en collision, elles doivent posséder une énergie cinétique minimale pour briser les liaisons intermoléculaires et ainsi en reformer de nouvelles.

## Les rubriques et autres caractéristiques

© SOFAD Reproduction interdite.

Les mots soulignés en pointillés sont définis dans le lexique à la fin du guide.

Un texte présenté dans cet encadré indique que ce texte cible des savoirs importants. Ce sont généralement des définitions ou des équations.

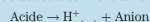
Les figures numérotées sont importantes; il faut y porter une attention particulière.

Si vous avez une piscine, vous mesurez régulièrement le degré d'acidité de l'eau et ajoutez de l'acide au besoin. Si l'équilibre entre les ions  $H^+$  et  $OH^-$  est inadéquat, des algues indésirables risquent de se développer et vous ne pourrez plus vous baigner tant que les concentrations correctes ne seront pas rétablies. Par ailleurs, le sang humain est légèrement basique et son pH est maintenu entre 7,3 et 7,5 grâce à des équilibres chimiques complexes. Le système sanguin se réajuste continuellement à la suite de perturbations extérieures associées notamment à l'alimentation et à la respiration.

Au cours des deux dernières séquences d'apprentissage, nous avons fait une description qualitative et quantitative de l'équilibre chimique. Nous abordons maintenant l'équilibre acidobasique, en mettant l'emphase sur l'ionisation des acides et des bases, de même que sur les réactions de neutralisation, régies par les lois de l'équilibre chimique.

#### Selon la théorie d'Arrhénius :

Les acides se dissolvent dans l'eau en libérant des ions  $H^+$  :



Les bases produisent des ions  $OH^-$  lorsque dissoutes dans l'eau :

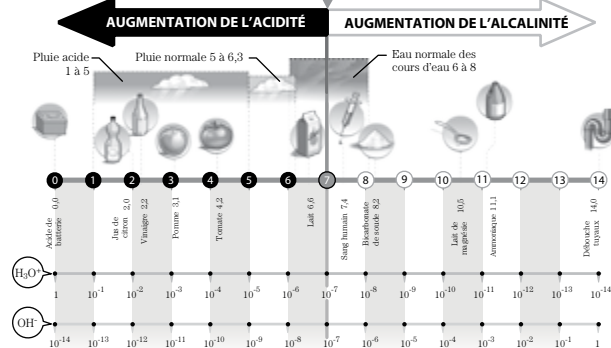
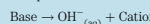


Figure 6.1 Échelle pH.

La rubrique *Le saviez-vous?* ajoute un complément d'information : il ne fait pas directement partie de l'apprentissage et aucune question de l'épreuve d'évaluation pour fin de sanction ne portera sur son contenu.

**?** **Des pommes qui ne bruniront plus : fiction ou bientôt réalité?**

**Le saviez-vous ?**

On verra bientôt chez l'épicier les premières variétés de pommes modifiées génétiquement afin qu'elles ne brunissent pas lorsqu'elles sont coupées ou croquées. Ces pommes sont la Délicieuse Jaune, une cousine de la Délicieuse Rouge utilisée dans cette activité expérimentale, et la pomme verte Granny Smith. Ce n'est donc qu'une question de temps avant que d'autres variétés de pommes, comme la Délicieuse Rouge, aient cette nouvelle propriété.



© empirio/Shutterstock.com      © stevenart/Shutterstock.com

Le pictogramme *Remarque* accompagne les paragraphes auxquels vous devez porter une attention particulière.

**!** **Les composés en phase solide ou liquide et leur influence sur l'équilibre chimique**

**Remarque**

Certaines réactions, comme celles du procédé Mond, présentent un réactif ou un produit en phase solide ou liquide. L'augmentation ou la diminution d'une quantité de ce composé n'influence aucunement l'équilibre chimique du système, car la vitesse de réaction (directe ou inverse) n'est pas modifiée par ce changement.

De plus, la concentration de ce composé reste inchangée même si sa quantité est modifiée. Comme un composé solide ou liquide est une substance pure et non un mélange, on considère qu'il n'a pas de concentration. Le terme concentration est généralement associé aux mélanges et aux solutions.

La rubrique *Astuce* présente un truc permettant de simplifier le travail.

**⚙️ Astuce**

De façon approximative, on peut considérer qu'une augmentation de la température de 10 °C entraîne une vitesse de réaction deux fois plus grande.

La rubrique *Rappel* contient des notions ou des concepts préalables.

**🔄 Rappel**

**Les charges des ions communs et les équations balancées**

Dans la constante  $K_p$ , les concentrations sont affectées de l'exposant correspondant à leurs coefficients stoechiométriques respectifs dans l'équation chimique. Avant d'écrire l'expression de la constante, il est donc essentiel de s'assurer que l'équation est bien balancée, c'est-à-dire qu'elle contient le même nombre d'atomes de chaque espèce des deux côtés de l'équation. Lorsque des ions sont en cause, on doit aussi s'assurer que la somme des charges est la même des deux côtés de l'équation. Par exemple, la dissolution du nitrate de calcium s'écrit :

$$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2(s) = \text{Ca}^{2+}_{(aq)} + 2 \text{NO}_3^{-}_{(aq)}$$

Charges :            0                    1 × (+2)                    2 × (-1)

= +2                    = -2                    Charge totale : 0

Lorsque la somme des charges n'est pas la même des deux côtés, la charge d'au moins un ion est incorrecte ou encore l'équation est mal balancée. Dans l'équation de dissolution d'un sel, la charge totale est toujours égale à zéro, car le solide de départ est neutre. Rappelons que les alcalins ont une charge positive (1+) et que les alcalino-terreux ont une double charge positive (2+). Quant aux halogènes, ils ont une charge négative (1-). Finalement, l'oxygène porte une double charge négative (2-). Certains ions polyatomiques reviennent fréquemment comme OH<sup>-</sup>, NO<sup>3-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>.

Vous trouverez à l'annexe E un tableau des charges de quelques ions fréquemment utilisés.

Ce pictogramme vous indique que vous devez réaliser une activité notée et la soumettre pour fin d'évaluation.

**👤 Vous devez maintenant réaliser l'activité notée 1**

Remettez-la ensuite à votre formateur ou votre formatrice, ou faites-la parvenir à votre tuteur ou votre tutrice selon les modalités prévues lors de votre inscription.

Note : Si les activités notées ne vous ont pas été fournies, vous pouvez les télécharger de : <http://cours1.sofad.qc.ca/ressources> sous la rubrique « Formation de base diversifiée ».



A light blue background featuring a faint, repeating pattern of a molecular structure. The structure consists of white spheres of varying sizes connected by thin white lines, representing atoms and bonds. The spheres are arranged in a complex, interconnected network that fills the entire page.

**1**

**Encore et toujours plus vite**

**2**

**Quand vitesse rime avec évolution**

**3**

**À la conquête de l'équilibre**

**4**

**Action, réaction !**

**5**

**Un équilibre quantifiable**

**6**

**Des funambules acidobasiques**

# 1

## Encore et toujours plus vite



### 1.1 Un débit moléculaire

- Buts**
- Définir la vitesse de réaction et en établir l'expression selon la situation.
  - Représenter graphiquement l'évolution d'une réaction chimique.



### 1.2 La vitesse, c'est une question de goût!

- Buts**
- Établir que la vitesse de réaction peut être influencée par différents facteurs et les nommer.
  - Comprendre que d'autres facteurs peuvent modifier la vitesse de réaction selon la situation et le type de réaction étudié.

- Votre tâche** Dans une situation faisant intervenir la réaction de Maillard, vous devrez :
- définir les facteurs qui influencent la vitesse de réaction dans la coloration de la viande lors de la cuisson;
  - comprendre comment ces facteurs agissent sur la cinétique réactionnelle;
  - formuler des recommandations.



### 1.3 Tomber dans les pommes...

- But**
- Étudier les différents facteurs qui influent sur la vitesse de réaction.

- Votre tâche**
- Vous devrez préparer un tableau comparatif qui vous aidera à choisir les meilleures conditions pour présenter des quartiers de pomme non brunis pour la préparation d'une tarte aux pommes lors d'un concours culinaire.



© robert\_s/Shutterstock.com

**L**a vitesse est un concept important qui s'insère dans plusieurs domaines. Par exemple, en milieu industriel, on cherche à contrôler la vitesse de divers procédés afin de réduire les coûts de production. Dans le domaine de l'agroalimentaire, il est parfois pertinent de contrôler la vitesse de croissance des aliments qu'on désire contrôler. Quant au milieu biomédical, la vitesse de propagation d'une maladie ou encore la vitesse de réaction d'un médicament sont des données importantes à étudier. Dans la présente séquence d'apprentissage, vous serez amené à définir la notion de vitesse de réaction et à établir les différents facteurs qui peuvent l'influencer.

## En route vers l'activité notée 1

Après les séquences d'apprentissage 1 et 2, vous aurez à compléter l'activité notée 1. Cette activité notée comporte entre autres une situation d'évaluation au cours de laquelle vous aurez à réaliser une tâche. En voici une brève présentation.

### Vite, on désinfecte !



#### But

- Mettre à profit ses habiletés en résolution de problème et ses connaissances sur la loi de vitesse de réaction.



© Samrith Na Lumpoon/Shutterstock.com

L'hôpital est l'endroit où l'on retrouve le plus grand nombre de bactéries et de pathogènes de toute sorte. La désinfection et la stérilisation en milieu hospitalier sont donc très importantes.

Plusieurs industries se spécialisent dans la production de désinfectants destinés au milieu hospitalier. Ces produits sont utilisés tant pour l'entretien général de l'hôpital et de ses installations que pour la stérilisation du matériel chirurgical et la désinfection des mains.

En milieu hospitalier, le chlore et l'iode sont grandement utilisés puisqu'ils possèdent un pouvoir

désinfectant et stérilisant important. Ces éléments sont capables de se combiner aux molécules organiques présentes chez tout être vivant en se substituant à des molécules d'hydrogène, rendant ainsi impossible la survie de l'organisme pathogène.

Vous travaillez pour une entreprise qui fabrique des désinfectants et des stérilisants destinés particulièrement au milieu hospitalier. L'hypochlorite de soude ( $\text{NaClO}$ ), dont le nom commun est l'eau de Javel, est l'un des produits que fabrique l'entreprise. Ce composé réagit rapidement avec le peroxyde d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), une substance formée au cours d'une infection bactériologique anaérobie (en absence d'oxygène). De surcroît, la présence de chlore empêche la prolifération bactérienne.

De manière similaire, le pouvoir désinfectant de l'iode pourrait être mis de l'avant en remplaçant l'hypochlorite de soude par l'acide iodhydrique (HI). Évidemment, comme c'est un acide fort et relativement instable, il ne sert pas à la fabrication de désinfectants et de stérilisants. Il est tout de même intéressant d'étudier la cinétique de cette réaction et de la comparer à celle de l'eau de Javel.



## Votre tâche

Vous devrez :

- étudier la cinétique de réaction entre le peroxyde d'hydrogène et l'acide iodhydrique;
- comparer cette cinétique de réaction à celle entre le peroxyde d'hydrogène et l'hypochlorite de soude.

Prenez dès maintenant connaissance du contenu de la section B de l'activité notée 1, puis faites de votre mieux pour répondre aux questions suivantes. Si vous n'avez pas une copie imprimée de l'activité notée, vous pouvez la consulter sur le site Web suivant, sous la rubrique « Formation de base diversifiée » : <http://cours1.sofad.qc.ca/ressources>.

Vous avez lu que dans cette activité, vous devrez déterminer les facteurs qui influencent la vitesse d'une réaction chimique. Vous devrez aussi établir l'expression de la loi de vitesse, sa constante de vitesse ainsi que l'ordre de réaction par rapport à chacun des réactifs.

Comment définiriez-vous la vitesse d'une réaction chimique ?

---



---



---



---



---



---

Sachant que la concentration du ou des réactifs de départ influence grandement la vitesse de réaction, comment feriez-vous pour étudier son effet sur la vitesse de réaction ?

---



---



---



---



---



---

Deux facteurs influençant la vitesse de réaction seront étudiés dans l'activité notée 1. Selon vous, outre la concentration des réactifs de départ, quel serait le deuxième facteur ?

---



---

## Exploration

Les questions suivantes vous permettront de réviser certains concepts qui vous seront utiles au cours de cette séquence d'apprentissage.

- 1.1 Expliquez ce que font les molécules d'eau lorsque l'on fait bouillir de l'eau. Essayez d'inclure au moins un élément en lien avec la cinétique ou la vitesse de collisions des molécules d'eau.

---

---

---

- 1.2 Donnez un exemple de vitesse dans les situations ou domaines suivants.

a) Domaine de l'informatique : \_\_\_\_\_

b) Domaine culinaire : \_\_\_\_\_

c) Lors d'une fête foraine : \_\_\_\_\_

- 1.3 Donnez un exemple de la vie courante où la vitesse de réaction est :

a) lente : \_\_\_\_\_

b) rapide : \_\_\_\_\_

- 1.4 Nommez un facteur qui, selon vous, peut influencer la vitesse d'une réaction chimique.

---

- 1.5 Sachant que l'on exprime la vitesse d'une voiture ou d'un train en km/h et que le nœud (ou mille marin à l'heure) est l'unité de vitesse utilisée par les transports maritimes, donnez un exemple d'unité de vitesse de réaction chimique.

---

- 1.6 Soit la réaction de combustion du carbone :  $C_{(s)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons CO_{2(g)}$ . Sachant que le carbone brûle à une vitesse de 85 g/min, répondez aux questions suivantes :

a) En combien de temps brûlera 500 g de carbone ?

---

---

b) Convertissez, en mol/h, la vitesse de combustion du carbone.

---

---

c) Quelle est la vitesse de formation du  $CO_2$  ? \_\_\_\_\_





## Activité 1.1 Un débit moléculaire



### Buts

- Définir la vitesse de réaction et en établir l'expression selon la situation.
- Représenter graphiquement l'évolution d'une réaction chimique.

Lors d'une transformation de la matière, il y a réarrangement des atomes, c'est-à-dire que les molécules des réactifs se brisent et se réarrangent pour former de nouveaux composés, soit les produits. Généralement, au cours d'une réaction chimique, les caractéristiques et propriétés des produits sont différentes de celles des réactifs de départ.

Une **réaction chimique** est le processus par lequel la matière se transforme par réarrangement d'atomes. Les molécules de départ se nomment réactifs et se brisent pour former de nouvelles espèces chimiques, soit les produits, ayant des propriétés chimiques qui leurs sont propres.

Il existe plusieurs types de réaction chimique; en voici quelques-uns : réaction de précipitation, d'oxydation (ou de combustion), de décomposition, de synthèse et de neutralisation.

1.7) Donnez un exemple d'équation chimique équilibrée pour les types de réaction chimique suivants :

TYPE DE RÉACTION CHIMIQUE	EXEMPLE D'ÉQUATION CHIMIQUE BALANCÉE
Précipitation	
Oxydation	
Décomposition	
Synthèse	
Neutralisation	

Au cours d'une réaction chimique, certains changements physiques et chimiques peuvent être visibles à l'œil nu. Par exemple, la réaction de la levure se traduit par un gâteau ou un pain qui lève au four. Toutefois, ce n'est pas toujours le cas. Ce n'est pas parce qu'on ne voit rien, qu'il n'y a pas de réaction au niveau microscopique. La formation des gaz à effet de serre dans notre atmosphère en est un excellent exemple.

- 1.8) Donnez un exemple d'une réaction chimique où un changement est visible à l'œil nu et un autre exemple où c'est le cas inverse, c'est-à-dire qu'au niveau macroscopique il ne semble rien se produire, mais qu'au niveau microscopique une réaction se produit.
- 
- 

Une chandelle allumée témoigne d'une réaction de combustion. Plusieurs indices indiquent que cette réaction se déroule, notamment : la quantité de cire diminue (la chandelle raccourcit), la flamme produit de la lumière et de la chaleur ou de la suie se forme (selon la cire utilisée). Ainsi, les manifestations de la réaction sont nombreuses. Leur évolution permet de mesurer la vitesse de combustion d'une chandelle. Par exemple, mesurer la hauteur de la chandelle à toutes les minutes permet d'évaluer la vitesse de disparition de la cire. On peut aussi mesurer la quantité de suie formée, ou encore évaluer la quantité d'énergie produite en fonction du temps. Tous ces changements indiquent qu'une réaction est en cours et que son évolution dans le temps peut être suivie et même quantifiée.

### L'expression de la vitesse de réaction

Pour déterminer la vitesse de réaction ( $v$ ) d'un processus chimique, nous mesurons les transformations qui se produisent au sein d'un réactif ou d'un produit en fonction du temps. C'est l'état physique du réactif ou du produit qui nous indique le paramètre à étudier pour déterminer la vitesse de réaction. Ainsi, si le composé à l'étude est :

- solide, on mesure une variation de masse ( $m$ ) ou du nombre de particules ( $n$ ).
- liquide, on mesure une variation de masse ( $m$ ) de volume ( $V$ ) ou du nombre de particules ( $n$ ).
- gazeux, on mesure une variation de masse ( $m$ ), de volume ( $V$ ), de concentration ( $c$ ) ou de pression ( $P$ ).
- dissous en milieu aqueux, le plus simple est de suivre la variation de la concentration ( $c$ ).



L'étude de la vitesse de réaction implique donc l'étude d'une variation. Pour ce faire, il faut connaître les conditions de départ ainsi que les conditions finales.



**Remarque**

En science, le terme variation est symbolisé par la lettre grecque delta ( $\Delta$ ). Par exemple, une variation de masse est symbolisée par  $\Delta m$  où  $m$  est la masse. De plus, on détermine toujours une variation en soustrayant l'état initial de l'état final.

Par exemple, une variation de masse se calcule comme suit :

$$\Delta m = m_{\text{finale}} - m_{\text{initiale}} \text{ ou } m_f - m_i$$

1.9 Tentez de réaliser l'expérience suivante, puis répondez aux questions. Si vous ne pouvez réaliser l'expérience, essayez tout de même de répondre aux questions. Dans un verre transparent, versez une cuillère à soupe de vinaigre blanc (de l'acide acétique). Ajoutez ensuite un quart de cuillère à thé de bicarbonate de soude. Vous observez un violent bouillonnement qui diminue en intensité peu à peu. Après quelques instants, il ne se passe plus rien. Agitez légèrement le verre pour vous assurer qu'il n'y a plus de bouillonnement.

a) Y a-t-il eu réaction chimique ? Justifiez votre réponse.

---



---



---



---

b) Autre que le bouillonnement, y a-t-il une autre manifestation qui indique qu'une réaction s'est produite ? Si oui, laquelle ?

---

c) Combien de temps la réaction a-t-elle duré ?

---

d) Proposez un moyen d'évaluer la vitesse de la réaction.

---



---



---



---



---



---

e) La réaction s'est-elle déroulée à la même vitesse tout au long du processus? Justifiez votre réponse.

---

---

---

---

En cinématique, on définit la vitesse comme la variation de la position d'un mobile par unité de temps. En cinétique chimique, le concept de vitesse reste le même, c'est-à-dire qu'il s'agit d'une variation dans le temps de l'une des caractéristiques observables d'une réaction chimique. Vous avez également vu au début de la séquence d'apprentissage que l'on peut tout autant caractériser la vitesse d'une réaction par rapport aux réactifs que par rapport aux produits formés. Il est donc possible d'établir une définition générale qui tient compte de toutes ces données.

La **vitesse de réaction** se définit comme la mesure d'une variation de la quantité de réactifs disparaissant (en masse, en nombre de particules, en volume, en pression ou en concentration) ou la quantité de produits apparaissant par unité de temps.

De manière générale, on peut définir mathématiquement la vitesse de réaction comme suit :

$$\text{En fonction de la disparition des réactifs : } v = - \frac{\Delta \text{réactif}}{\Delta \text{temps}}$$

$$\text{En fonction de l'apparition des produits : } v = \frac{\Delta \text{produit}}{\Delta \text{temps}}$$

Notez le signe négatif lorsque la vitesse de réaction est définie par rapport à la transformation des réactifs. Puisque les réactifs disparaissent au cours d'une réaction, il est certain que la valeur au numérateur est négative. Or, une vitesse ne peut jamais être négative. Faites l'essai suivant : la prochaine fois que vous êtes passager dans une voiture, remarquez bien l'indicateur de vitesse lorsque le conducteur recule avec son véhicule. Indique-t-il une vitesse négative? L'aiguille du compteur descend-elle sous la valeur zéro? Bien sûr que non! Il en est de même pour la vitesse de réaction; il suffit alors de multiplier par  $-1$  la vitesse afin de la rendre positive.

1.10) Maintenant que vous savez comment se définit la vitesse d'une réaction, sauriez-vous proposer une expression mathématique spécifique à la quantité de matière mesurée ? Pour le savoir, complétez l'exercice suivant.

a) Dans un premier temps, donnez les unités appropriées pour chacune des quantités de matière ci-dessous.

	NOMBRE DE PARTICULES	MASSE	VOLUME	PRESSION	CONCENTRATION
Unités					

b) Proposez une relation mathématique exprimant la vitesse de réaction en fonction de la quantité de matière mesurée. Assumez que le temps est exprimé en secondes. La première ligne du tableau a été complétée pour vous à titre d'exemple.

QUANTITÉS DE MATIÈRE MESURÉES	EXPRESSION MATHÉMATIQUE	UNITÉ
Nombre de particules	$v = \frac{\Delta \text{nombre de particules}}{\Delta \text{temps}}$ ou $v = \frac{\Delta n}{\Delta t}$	$\frac{\text{mol}}{\text{s}}$
Masse		
Volume		
Pression		
Concentration		



## Rappel

### La concentration et ses unités

La concentration ( $c$ ) est le rapport entre la quantité de soluté et la quantité totale de solution, soit la quantité de soluté plus la quantité de solvant.

$$\text{Concentration} = \frac{\text{Quantité de soluté}}{\text{Quantité de solution}}$$

La concentration d'une solution varie donc en fonction de la quantité de soluté et la quantité de solvant. Ainsi, si on ajoute du soluté, la concentration augmentera. Par contre, si du solvant est ajouté, la concentration diminuera; c'est le principe de la dilution. Les unités représentant une concentration ne se limitent pas à des mol/L, elles peuvent varier en fonction de la situation.

- Concentration molaire : Il s'agit du nombre de moles ( $n$ ) contenues dans un 1 L (ou 1 000 mL) de solution et on l'exprime en mol/L.

$$\text{Concentration} = \frac{\text{Nombre de moles de soluté}}{\text{Volume de solution}} \text{ ou } c = \frac{n}{V}$$

- Concentration exprimée en masse et en volume : Généralement, on exprime cette concentration en g/L, mais il arrive parfois que des unités telles que g/mL, mg/L ou g/cm<sup>3</sup> soient également utilisées. Rappelez-vous que 1 mL = 1 cm<sup>3</sup>.

$$\text{Concentration} = \frac{\text{Masse de soluté}}{\text{Volume de solution}} \text{ ou } c = \frac{m}{V}$$

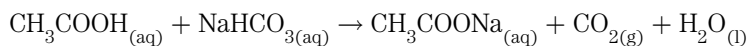
- Concentration exprimée en parties par million (ppm) : Il s'agit du nombre de parties de soluté dans 1 million de parties de solution. De manière plus simple, il s'agit du nombre de milligrammes de soluté dissous dans 1 L de solution. En effet :

$$1 \text{ ppm} = \frac{1 \text{ g}}{1\,000\,000 \text{ mL}} \times \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = \frac{1 \text{ mg}}{1 \text{ L}}$$

- Concentration en % : Il s'agit de la quantité de soluté ( $V$  ou  $m$ ) contenue dans 100 mL ou 100 g de solution. Cette concentration peut s'exprimer en %  $m/V$ , %  $V/V$  ou en %  $m/m$ .

$$\% m/V = \frac{\text{Masse de soluté}}{100 \text{ mL solution}} \quad \% V/V = \frac{\text{Volume de soluté}}{100 \text{ mL solution}} \quad \% m/m = \frac{\text{Masse de soluté}}{100 \text{ g solution}}$$

Voyons maintenant comment utiliser ces concepts lors d'une résolution de problème. Prenons l'exercice 1.9 vu précédemment. Par déplacement d'eau, à température et pression constantes, il est possible de mesurer la quantité de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) formée lors de la réaction entre l'acide acétique (CH<sub>3</sub>COOH) et le bicarbonate de soude (NaHCO<sub>3</sub>).



Après 2 minutes 35 secondes, on recueille 37,9 mL de  $\text{CO}_2$ . Quelle est la vitesse de cette réaction en mL/s?

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{V_f - V_i}{t_f - t_i} = \frac{37,9 \text{ mL} - 0,0 \text{ mL}}{155 \text{ s} - 0 \text{ s}}$$

$$v = 0,245 \text{ mL/s}$$

- 1.11 Afin de déterminer la vitesse de réaction entre le vinaigre et le bicarbonate de soude, quels autres paramètres pourriez-vous suivre, mis à part le volume de  $\text{CO}_2$  produit? Nommez-en deux.

---



---

En résumé, la vitesse d'une réaction chimique peut se déterminer en suivant soit la transformation des réactifs, soit la formation des produits. Bien qu'on puisse observer l'évolution d'une réaction en fonction de diverses caractéristiques, ce sont surtout les variations de masse, de pression, de volume ou de concentration, dans un temps donné, qui sont en général observées.

Avant de poursuivre votre étude de la vitesse de réaction, vérifions que vous maîtrisez les notions de base qu'on a vues jusqu'à maintenant.

- 1.12 Soit la réaction de combustion du méthanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ).

a) Quelle est l'équation chimique balancée de cette réaction?

---

Avant de poursuivre l'exercice, vérifiez que vous avez la bonne équation chimique.

b) La concentration initiale du méthanol est de 0,25 mol/L. Après 3,5 heures, la concentration du  $\text{CH}_3\text{OH}$  n'est plus que de 0,070 mol/L. Quelle est la vitesse de la réaction de combustion du méthanol en mol/L•h?

---



---



---



---

c) Quelle serait cette vitesse en g/L•s?

---



---



---



---

- d) Il est également possible de suivre l'évolution de cette réaction en suivant la pression du  $\text{CO}_2$ .  
Déterminez la vitesse de réaction sachant que la pression du  $\text{CO}_2$  est de 2,37 atm après 3,5 heures.

---



---

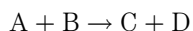


---



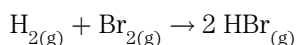
---

Jusqu'à présent, nous avons étudié principalement des réactions dans lesquelles les réactifs et les produits présentaient uniquement des coefficients de stœchiométrie de 1.



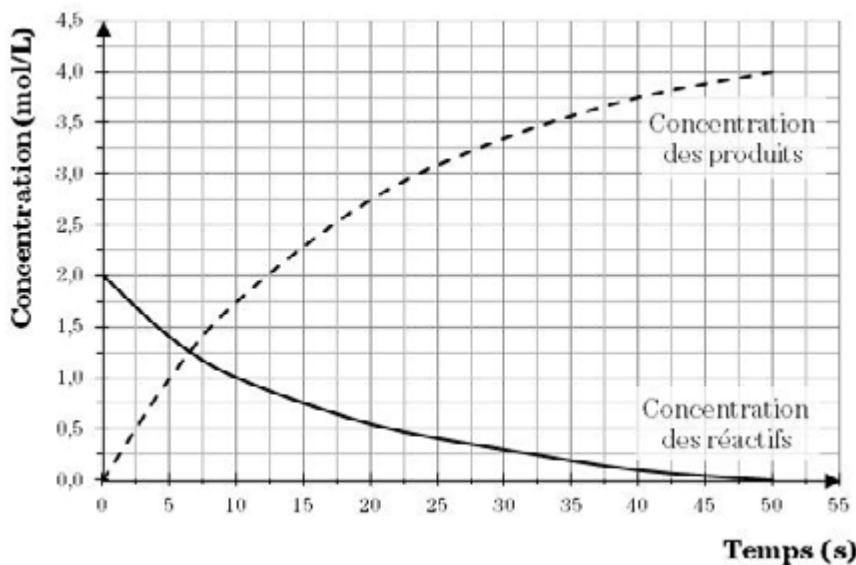
Mais qu'en est-il lorsque les coefficients de stœchiométrie ne sont pas tous unitaires, comme dans l'exercice précédent? La vitesse de réaction est en fait une proportion qui est donnée par rapport aux coefficients de stœchiométrie.

À titre d'exemple, considérons la réaction suivante :



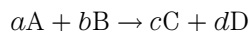
Le graphique suivant présente l'étude de la concentration des réactifs et des produits de cette réaction en fonction du temps. Nous remarquons que la concentration des produits varie plus rapidement que la concentration des réactifs. Ceci s'explique par le fait que pour chaque molécule d'hydrogène (ou de brome) consommée, deux molécules de bromure d'hydrogène sont produites. On comprend donc mieux l'importance de bien balancer les équations chimiques.

**GRAPHIQUE 1.1 – LA CONCENTRATION DES RÉACTIFS ET DES PRODUITS EN FONCTION DU TEMPS.**



Par contre, il est plus simple de caractériser une réaction si la vitesse reste la même et ce, peu importe si elle est donnée par rapport aux réactifs ou aux produits. Pour ce faire, la vitesse générale de réaction ( $v_g$ ) est très utile.

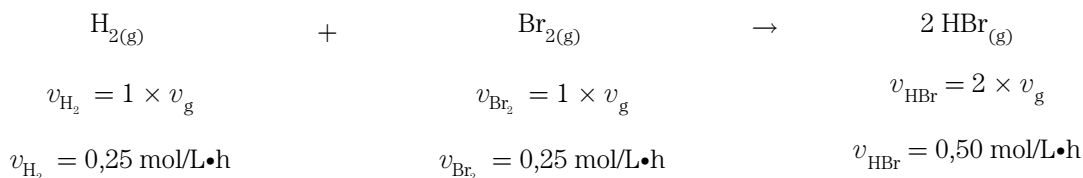
Soit la réaction générale suivante :



$$v_g = \frac{v_A}{a} = \frac{v_B}{b} = \frac{v_C}{c} = \frac{v_D}{d}$$

où  $v_g$  est la vitesse générale de réaction en mol/L•s ou toute autre unité de concentration par unité de temps donnée,  
 $v_A$ ,  $v_B$ ,  $v_C$  et  $v_D$  sont les vitesses de réaction par rapport aux réactifs A et B et aux produits C et D respectivement,  
 et  $a$ ,  $b$ ,  $c$  et  $d$  sont les coefficients de stœchiométrie des réactifs et des produits.

Posons que la vitesse générale de la réaction précédente est de 0,25 mol/L•h. Nous pouvons déterminer la vitesse de réaction par rapport à chacun des réactifs et des produits.



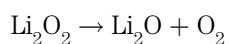


## Rappel

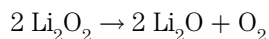
### La stœchiométrie et le calcul stœchiométrique

La stœchiométrie permet d'étudier les quantités de réactifs et de produits qui interagissent ensemble lors d'une réaction chimique. Elle permet également de déduire si tous les réactifs sont consommés ou s'il y a excès. Dans l'exemple suivant, on revient sur quelques notions de base et la marche à suivre lors d'un calcul stœchiométrique.

On a à déterminer le nombre de grammes d'oxygène ( $O_2$ ) produit lors de la décomposition de 7,3 g de peroxyde de lithium ( $Li_2O_2$ ).



1. Équilibrer l'équation.



2. Construire le tableau de données et y inscrire les données connues.
3. Déterminer la masse molaire ( $M$ ) de chaque réactif et produit.
4. Identifier dans le tableau la ou les données à déterminer (**en gras** dans la table) et résoudre le problème.

- a) Détermination du nombre de moles de  $Li_2O_2$  :

$$n_{Li_2O_2} = 7,3 \text{ g} \times \frac{1 \text{ mol}}{45,88 \text{ g}} = 0,16 \text{ mol}$$

- b) Détermination du nombre de moles de  $O_2$  par produit croisé :

$$n_{O_2} = \frac{0,16 \text{ mol} \times 1}{2} = 0,080 \text{ mol}$$

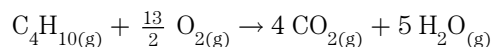
- c) Détermination de la masse de  $O_2$  :

$$m_{O_2} = 0,080 \text{ mol} \times \frac{32,00 \text{ g}}{1 \text{ mol}} = 2,6 \text{ g}$$

ÉQUATION CHIMIQUE BALANCÉE	$2 Li_2O_2$	$\rightarrow$	$2 Li_2O$	+	$O_2$
Nombre de moles	Étape 4a 0,16				Étape 4b 0,080
Masse molaire (g/mol)	Étape 3 45,88		Étape 3 29,88		Étape 3 32,00
Masse (g)	7,3				Étape 4c <b>2,6</b>



1.13) Soit la réaction de combustion du butane ( $C_4H_{10}$ ) :



a) En posant que la vitesse de formation du  $CO_2$  est de 1,25 mol/s, complétez le tableau suivant. Portez une attention particulière aux chiffres significatifs.

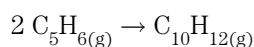
$v_{C_4H_{10}}$	$v_{O_2}$	$v_{CO_2}$	$v_{H_2O}$	$v_g$

b) En posant que la vitesse générale de réaction est de 0,67 g/h, complétez le tableau suivant. Portez une attention particulière aux chiffres significatifs.

$v_{C_4H_{10}}$	$v_{O_2}$	$v_{CO_2}$	$v_{H_2O}$	$v_g$

### L'évolution de la vitesse de réaction en graphique

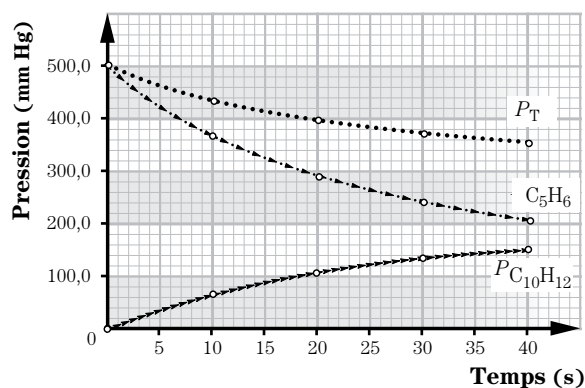
Un graphique est très utile pour suivre l'évolution d'une réaction chimique. Examinons par exemple la transformation du cyclopentadiène ( $C_5H_6$ ), un insecticide en un solvant organique appelé « tétraline » ( $C_{10}H_{12}$ ).



Durant la réaction, 2 moles de réactif se transforment en 1 mole de produit. Il est indiqué, dans ce cas-ci, de suivre l'évolution de cette réaction en considérant la pression. Dans le cours *Propriétés des gaz et énergie chimique* (CHI-5061-2), vous avez vu que la pression est directement proportionnelle au nombre de moles de gaz ( $PV = nRT$ ); c'est la loi des gaz parfaits. Dans la réaction qui nous intéresse, comme le nombre de moles de produit est inférieur à celui du réactif, la pression du gaz produit ( $C_{10}H_{12}$ ) augmente alors que la pression du réactif et la pression totale diminuent à mesure que se déroule la réaction.

**TABLEAU 1.1 – LES VALEURS DE PRESSIONS PARTIELLES ET DE PRESSION TOTALE DE LA RÉACTION.**

TEMPS (s)	$P_T$ (mmHg)	$P_{C_5H_6}$ (mmHg)	$P_{C_{10}H_{12}}$ (mmHg)
0	500	500	0
10	434	368	66
20	396	292	104
30	370	240	130
40	353	206	147

**GRAPHIQUE 1.2 – LES COURBES DE PRESSIONS PARTIELLES ET DE PRESSION TOTALE EN FONCTION DU TEMPS.**

Sur le graphique, la courbe du haut donne la pression totale en fonction du temps; elle va en diminuant, comme prévu. Avant que la réaction débute ( $t = 0$ ), il n'y a que des réactifs et la pression totale correspond à celle du  $C_5H_6$  uniquement; la pression du  $C_{10}H_{12}$  est donc nulle. Après quelques secondes, les molécules de  $C_5H_6$  réagissent entre elles pour former du  $C_{10}H_{12}$ . La pression du produit augmente alors que celle du réactif diminue. La pression totale, quant à elle, diminue, car la production de 1 mole de produit fait disparaître 2 moles de réactif. Ainsi, il y a moins de molécules pour un même volume puisque le volume et la température restent constants durant la réaction.

La forme des courbes montre que les pressions ne varient pas de façon constante; par conséquent, la vitesse de réaction n'est pas la même tout au long du processus chimique. La pression du  $C_5H_6$  diminue rapidement au début et plus lentement par la suite. À l'inverse, la pression du  $C_{10}H_{12}$  augmente rapidement au début et la courbe s'adoucit à mesure que la réaction se déroule. D'un point de vue cinétique, cela signifie que la vitesse de disparition du réactif et la vitesse d'apparition du produit sont rapides au début, puis diminuent doucement pour atteindre par la suite une valeur stable (mais pas nécessairement nulle). En effet, si on extrapolait les données sur une période suffisamment longue, les courbes formeraient des plateaux horizontaux, indiquant que les pressions ne changent plus après un certain temps.

Finalement, remarquez sur le graphique que la somme des pressions partielles est toujours égale à la pression totale du système, peu importe le temps choisi. Le tableau des données le montre aussi clairement; pour un temps donné, la somme des deux dernières colonnes est toujours égale à la pression totale de la deuxième colonne.

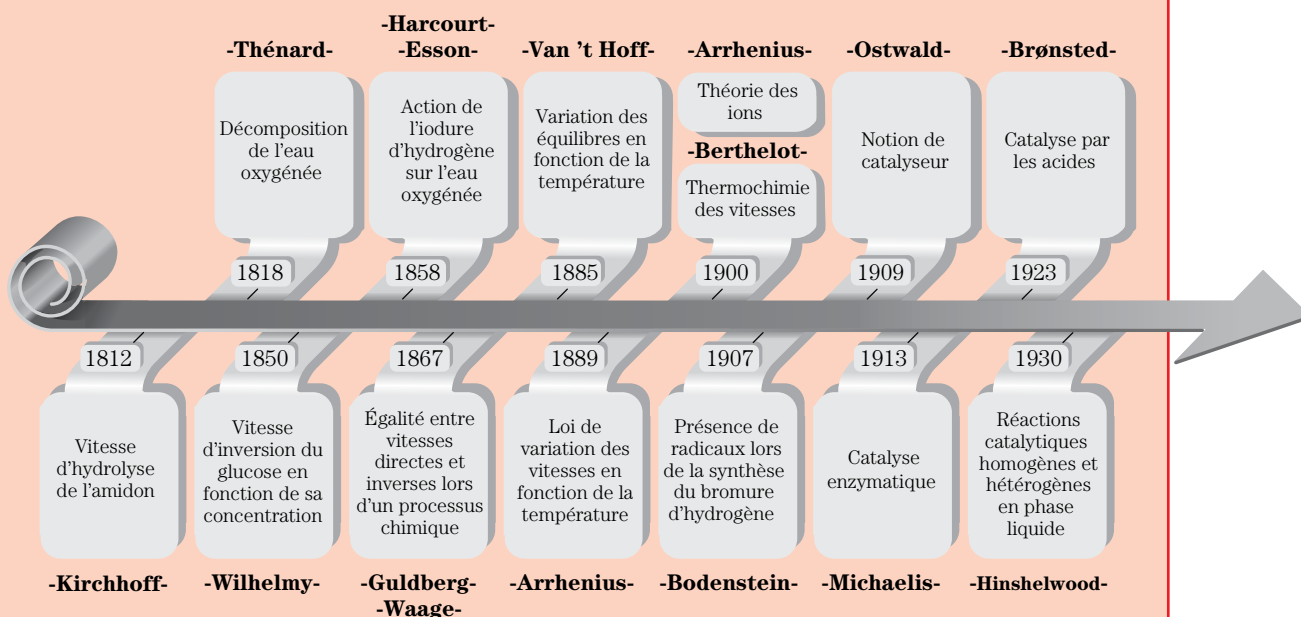


**Le saviez-vous ?**

### La cinétique chimique d'un point de vue historique

Le terme « cinétique » vient du mot grec *kinêtikos*, qui signifie « qui a le mouvement pour principe », mot lui-même dérivé de *kinêtos*, signifiant « mobile ». Évidemment, nous n'observons pas le mouvement à proprement dit des molécules chimiques, mais plutôt les manifestations de la transformation des espèces chimiques. La cinétique chimique peut donc être décrite simplement comme l'étude de l'évolution d'une réaction chimique.

La cinétique chimique, telle que nous l'étudions aujourd'hui, est issue d'une série de découvertes importantes. Ces découvertes ont mené, entre autres, à l'élaboration des expressions mathématiques qui décrivent la vitesse de réaction, à la caractérisation de la vitesse de réaction par rapport à un ordre (ordres 1, 2, 3), et à l'étude des facteurs qui influencent la vitesse d'un processus chimique, dont la catalyse enzymatique qui est au cœur de la vie humaine. Les plus grands scientifiques tels que Arrhenius, Van 't Hoff et Hinshelwood y ont contribué comme le présente l'échelle du temps ci-dessous.



Échelle de temps présentant certaines des découvertes qui ont mené à la cinétique chimique telle que nous l'étudions aujourd'hui.

**Le saviez-vous ?****La cinétique chimique d'un point de vue historique** (suite...)

L'un des scientifiques qui a contribué au développement de la cinétique chimique est montréalais. Il s'agit du Dr Edgar William Richard Steacie (1900-1962). Né à Montréal, Steacie a fait ses études supérieures à l'Université McGill. En 1926, il obtient un doctorat après s'être spécialisé en chimie physique sous la supervision du professeur Otto Maass, puis enseigne au département de chimie de cette université jusqu'en 1939. Il devient ensuite directeur puis président du Conseil national de recherches du Canada (CNRC), où il met sur pied un prestigieux programme de bourses postdoctorales.

Dès le début de sa carrière, Steacie s'intéressera à la cinétique chimique et poursuivra des recherches dans ce domaine. On lui doit, entre autres, des avancements majeurs sur la nature des réactions chimiques (présence d'intermédiaires, d'atomes et de radicaux libres), ainsi que le développement de la photochimie moderne. Sa contribution au milieu scientifique lui valut de nombreux prix et distinctions honorifiques. C'est en reconnaissance de son engagement à encourager les jeunes à poursuivre une carrière en science que la Fondation E.W.R. Steacie décerne annuellement, depuis 1964, le prix Steacie à un ou une jeune scientifique de moins de 40 ans qui a grandement contribué à la recherche au Canada.



© Musée des sciences et de la technologie du Canada

**Exercices de l'activité 1.1**

- 1.14) Plusieurs mots du vocabulaire courant sous-entendent la notion de vitesse de réaction. Complétez le tableau ci-dessous en définissant chaque terme selon le concept de vitesse de réaction. Pour vous aider, utilisez un dictionnaire ou faites une recherche sur Internet. Le premier terme a été défini pour vous à titre d'exemple.

TERME	DÉFINITION
Explosion	Phénomène au cours duquel des gaz sous pression sont produits dans un temps très court. Une explosion est une réaction très rapide.
Détonation	
Déflagration	
Combustion vive	

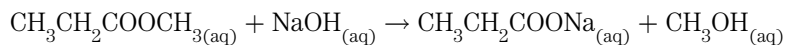
- 1.15) Les moyens utilisés pour mesurer la vitesse varient selon que la réaction est lente ou rapide. Pour chacune des réactions décrites ci-dessous, décrivez brièvement la réaction et proposez un moyen d'en mesurer la vitesse. Deux réactions ont été complétées pour vous à titre d'exemple.

RÉACTIONS LENTES	DESCRIPTION
Combustion du butane dans un briquet	La réaction est continue et visible (feu). On pourrait évaluer sa progression en notant, à chaque minute, la quantité de butane qui reste dans le réservoir.
Combustion de mazout (huile à chauffage)	
Formation de la rouille à la surface d'un morceau de fer	

RÉACTIONS RAPIDES	DESCRIPTION
Mélange, à parties égales, des deux solutions d'une colle époxy*	Le durcissement du mélange et la résistance à séparer les morceaux collés indiquent qu'il y a réaction. Pour mesurer la vitesse, on peut utiliser une série de montages identiques constitués de deux plaques réunies par la même quantité de colle époxy. On sépare les plaques d'un montage toutes les 10 secondes en mesurant à chaque fois la force nécessaire. La variation de la force nécessaire en fonction du temps correspond alors à la vitesse de la réaction.
Allumette qui brûle	

\* L'époxy est une colle qui est activée lorsque deux solutions sont mélangées. Les solutions séparées sont inactives.

- 1.16 L'hydrolyse basique d'un ester produit toujours un carboxylate et un alcool au même titre que la réaction entre un acide et une base produit toujours un sel et de l'eau. Lorsque la réaction suivante se déroule à température ambiante, la concentration d'alcool ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) atteint 1,21 mol/L en 42 minutes. Calculez la vitesse de réaction par rapport à l'alcool.




---



---

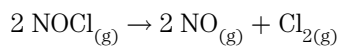


---



---

- 1.17) À une température donnée, la vitesse de décomposition du chlorure de nitrosyle (NOCl) est de  $9,67 \times 10^{-9}$  mol/L•s. Combien de temps faut-il pour que la concentration de chlore soit de  $2,14 \times 10^{-7}$  mol/L ?




---



---



---

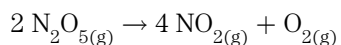


---



---

- 1.18) Soit la décomposition du pentoxyde de diazote à 50 °C :



Après 2 heures, la concentration en  $\text{N}_2\text{O}_5$ , initialement de 7,33 ppm, est de 1,75 ppm.

- a) Calculez la vitesse de disparition de  $\text{N}_2\text{O}_5$  sur cet intervalle de temps en ppm/h et en ppm/min.

---



---



---



---



---



---

- b) Calculez la vitesse de formation de  $\text{NO}_2$  sur ce même intervalle de temps en ppm/s.

---



---



---



---



---



---



---



---

1.19 Alicia travaille comme scientifique pour un fournisseur de gaz naturel. Son équipe de recherche vient de mettre au point un nouvel appareil. Pour vérifier sa calibration, Alicia doit déterminer la vitesse de formation du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et de l'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ) lors de la combustion du propane ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ).

a) Écrivez l'équation chimique (balancée) de la combustion du propane. Vérifiez votre réponse avant de poursuivre l'exercice.

---

b) Sachant que la vitesse de disparition du propane est de  $1,35 \times 10^{-3} \text{ mol/L}\cdot\text{s}$ , quelle est la vitesse de formation du dioxyde de carbone et de l'eau?

---

---

---

---

c) Sachant que la vitesse de consommation de l'oxygène ( $\text{O}_2$ ) est de  $5,02 \text{ kPa/min}$ , quelle est la vitesse de formation du dioxyde de carbone et de l'eau?

---

---

---

d) En posant que  $0,56 \text{ mL}$  d'eau est produit à toutes les heures, quelle est la valeur de la vitesse générale de réaction?

---

---

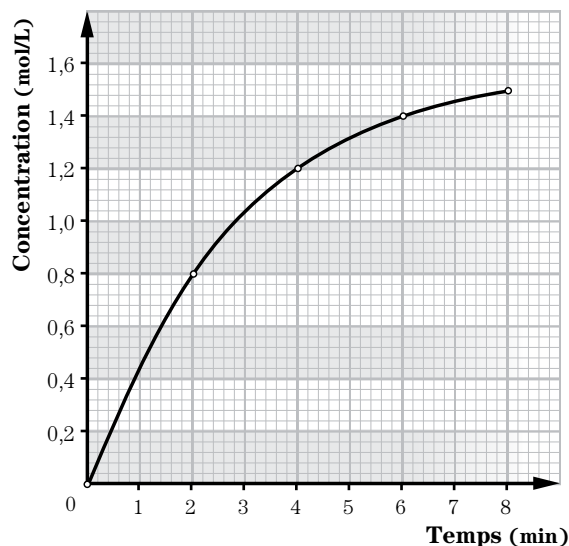
---

---



- 1.20) Mathieu a effectué une étude cinétique afin de déterminer la vitesse d'une réaction chimique. Il a obtenu les résultats suivants.

**LA CONCENTRATION DU RÉACTIF OU DU PRODUIT EN FONCTION DU TEMPS.**



- a) Selon vous, est-ce que ce graphique représente la consommation d'un réactif ou la formation d'un produit? Justifiez votre réponse.

---



---



---



---

- b) Est-ce que la vitesse de réaction reste la même tout au long de la réaction? Justifiez votre réponse.

---



---



---



---

- c) Quelle est la vitesse entre 2 et 6 minutes?

---



---



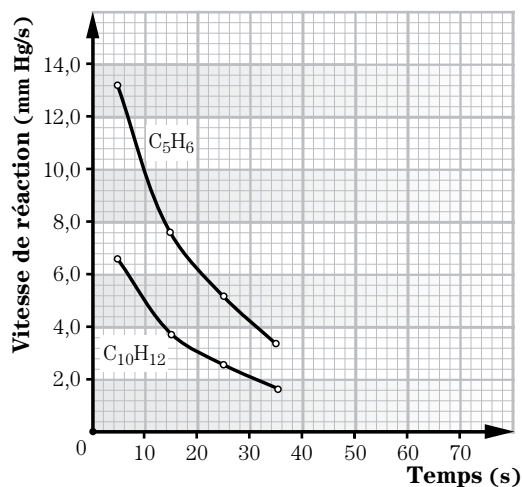
---

- (1.21) Soit la réaction du cyclopentadiène, dont la vitesse a été calculée en prenant la pression après chaque intervalle de 10 secondes. Le tableau et le graphique ci-dessous présentent les résultats obtenus. Les temps indiqués dans le tableau correspondent au milieu des intervalles. Par exemple, on situe à  $t = 15$  s la vitesse moyenne dans l'intervalle comprise entre 10 et 20 secondes après le début de la réaction.

**LES VALEURS DE VITESSE DE CONSOMMATION  
DU  $C_5H_6$  ET DE FORMATION DU  $C_{10}H_{12}$ .**

TEMPS (s)	VITESSE DE CONSOMMATION DE $C_5H_6$ (mmHg/s)	VITESSE DE FORMATION DE $C_{10}H_{12}$ (mmHg/s)
5	13,2	6,6
15	7,6	3,8
25	5,2	2,6
35	3,4	1,7

**LA VITESSE DE CONSOMMATION DU  $C_5H_6$  ET DE FORMATION DU  $C_{10}H_{12}$  EN FONCTION DU TEMPS.**



- a) Expliquez pourquoi, à l'échelle moléculaire, le graphique obtenu est cohérent avec le processus de la réaction chimique.

---



---



---



---



---



---

- b) Extrapolez les courbes afin de démontrer que la vitesse de réaction atteint une valeur nulle après une certaine période de temps. Répondez directement sur le graphique.

- c) Donnez l'expression mathématique qui représente la vitesse de consommation du  $C_5H_6$  et celle de la formation du  $C_{10}H_{12}$ .

---



---

- d) Quelle est la valeur de la vitesse générale de réaction pour chacun des temps indiqués au tableau ?

TEMPS (s)	5	15	25	35
$v_g$ (mmHg/s)				

---



---



---



---

### Retour sur l'activité 1.1

En résumé, on suit l'évolution d'une réaction en mesurant à intervalles réguliers une caractéristique des réactifs ou des produits, le plus souvent la concentration ou la pression. Sur un graphique, les courbes de concentration en fonction du temps sont descendantes pour les réactifs et montantes pour les produits. La vitesse d'une réaction renvoie à la disparition des réactifs ou à la formation des produits. Selon la substance considérée, les valeurs changent mais elles traduisent la même réalité. Les courbes de vitesse en fonction du temps montrent bien qu'une réaction est plus rapide au début et que sa vitesse diminue à mesure que la réaction progresse. Lorsque tous les réactifs ont disparu, la réaction s'arrête; la vitesse de réaction est alors nulle.

Une réaction chimique est donc un processus dynamique qui change dans le temps et les mesures de vitesse caractérisent cette évolution. Cependant, plusieurs facteurs contribuent à faire varier la vitesse d'une réaction. Dans la prochaine séquence d'apprentissage, vous allez établir quels sont ces principaux facteurs.



## Activité 1.2 La vitesse, c'est une question de goût!



### Buts

- Établir que la vitesse de réaction peut être influencée par différents facteurs et les nommer.
- Comprendre que d'autres facteurs peuvent modifier la vitesse de réaction selon la situation et le type de réaction étudié.

Il y a plus de 100 ans, Louis-Camille Maillard effectuait des recherches pour comprendre les réactions en jeu lorsqu'on chauffait un mélange de sucres et de protéines. Pensant que ses travaux allaient servir au domaine médical, notamment pour le diabète, il a aussi contribué au domaine culinaire puisque le mécanisme qu'il a découvert expliquait pourquoi la nourriture en générale a meilleur goût si on la cuit. En effet, ce mécanisme en trois étapes est responsable, entre autres, du goût caractéristique de la viande rôtie.

Les domaines d'application de la réaction de Maillard sont nombreux. Outre le domaine culinaire où l'on retrouve le plus grand nombre d'exemples de ce mécanisme, les travaux de Maillard bénéficient aussi à la recherche sur le diabète et sur le vieillissement, ainsi qu'aux domaines pétrolier et agroalimentaire.

En contrôlant plusieurs facteurs, comme la température ou la nature des sucres, il est possible de contrôler la cinétique de la réaction de Maillard. Le contrôle de cette cinétique est très important puisqu'il influence directement la conservation des aliments, leur goût et leur aspect.

Vous êtes styliste culinaire pour une revue culinaire. On vous demande de préparer des morceaux de bœuf qui seront utilisés pour des prises de vue lors d'une séance photo. La préparation de la viande passe tout d'abord par une coloration de celle-ci en la faisant saisir brièvement au four à température élevée. De ce fait, vous réalisez que les morceaux de viande ne sont pas tous dorés de la même façon et que le temps de cuisson varie d'un morceau à l'autre.



© Wikimedia Commons

Louis-Camille Maillard (1878-1936) est un chimiste français reconnu également pour ses travaux sur le métabolisme de l'urée et des maladies rénales. Les fondements de ses travaux sont encore utilisés de nos jours pour le diagnostic de troubles rénaux.



## Votre tâche

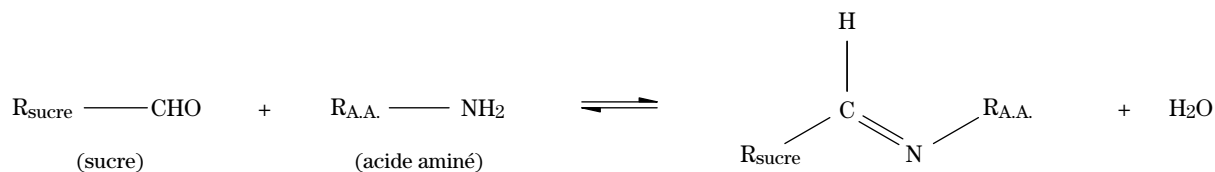
Dans une situation faisant intervenir la réaction de Maillard, vous devrez :

- définir les facteurs qui influencent la vitesse de réaction dans la coloration de la viande lors de la cuisson;
- comprendre comment ces facteurs agissent sur la cinétique réactionnelle;
- formuler des recommandations.

## Un bref aperçu de la réaction de Maillard

Avant de poursuivre, regardons brièvement le mécanisme de Maillard qui intervient lors de la cuisson d'une viande. Ce mécanisme se déroule en trois étapes.

La première étape consiste en une condensation, c'est-à-dire qu'un sucre réagit avec un acide aminé, les acides aminés étant les molécules formant les protéines alimentaires. Le produit formé est la glycosylamine.



Ce n'est pas l'ensemble des molécules qui réagissent les unes avec les autres. Une partie du sucre, soit le groupement CHO, réagit uniquement avec le groupement amine ( $\text{NH}_2$ ) de l'acide aminé. Dans l'illustration, R représente la partie de la molécule qui ne réagit pas durant la réaction chimique. Elle peut être composée de chaînes de carbones ou d'autres fonctions diverses; la nature exacte de ce groupement importe peu à la réussite de cette activité.

Lors de la deuxième étape, la glycosylamine subit une série de réarrangements moléculaire dont on ne donnera pas le détail ici. Finalement, la troisième étape du mécanisme de Maillard est complexe; il importe de savoir que c'est lors de cette dernière étape que la caramélisation se produit; la viande brunit.

C'est là une façon abrégée de vous présenter la réaction de Maillard. Vous aurez compris que ce mécanisme est en réalité beaucoup plus complexe. Pour les besoins de l'activité, nous allons nous concentrer sur la première étape seulement, soit celle impliquant la condensation. En effet, en modifiant certains paramètres externes à la réaction, la vitesse de la réaction de condensation peut être modifiée et, par le fait même, toute la cinétique du mécanisme en sera modifiée.

## La nature des réactifs

1.22) Nommez les deux catégories de réactifs impliqués dans la réaction de condensation de Maillard.

---



---

1.23) Selon vous, si on remplaçait un sucre par un autre sucre du même type ou alors un acide aminé par un autre, quel effet y aurait-il sur la vitesse de réaction ?

---



---

Bien que ce soit toujours le même groupement du sucre qui agit avec le même groupement de l'acide aminé, la nature du sucre ou de l'acide aminé a tout de même une influence sur la vitesse de réaction. Si l'un ou l'autre de ces réactifs est remplacé par un composé analogue, la vitesse de réaction sera modifiée. Pour colorer une pièce de viande, il importe que la vitesse de cuisson soit relativement rapide.

Pour la grande majorité des réactions chimiques, remplacer un réactif par un autre de même type (p. ex. un alcool par un alcool d'une structure moléculaire plus volumineuse) modifie grandement l'équilibre de la réaction et sa cinétique. La nature des réactifs est donc importante; c'est ce que nous verrons maintenant.

## La nature des sucres

Un sucre est un composé chimique soluble dans l'eau et ayant un pouvoir sucrant. Le saccharose est celui que l'on retrouve en plus grande quantité et le plus répandu, mais le terme « sucre » représente n'importe quel ose. Les oses sont des glucides ayant au minimum trois carbones; le préfixe dans le nom d'un sucre indique le nombre de carbone dans ce sucre.

**TABLEAU 1.2 – LE NOM ET LA FORMULE EMPIRIQUE DE QUELQUES OSES.**

NOM DES OSES	TRIOSE	TÉTROSE	PENTOSE	HEXOSE	HEPTOSE	NONOSE
Formule générale	$C_3H_6O_3$	$C_4H_8O_4$	$C_5H_{10}O_5$	$C_6H_{12}O_6$	$C_7H_{14}O_7$	$C_9H_{17}N_1O_8$

Dans le cas spécifique de la réaction de condensation de Maillard, il a été démontré que plus la molécule de sucre est volumineuse, plus la réaction est ralentie. Nous verrons pourquoi un peu plus loin.

1.24) Pour chacune des paires de oses suivantes, choisissez la molécule qui produira la vitesse de réaction la plus élevée (plus rapide) ?

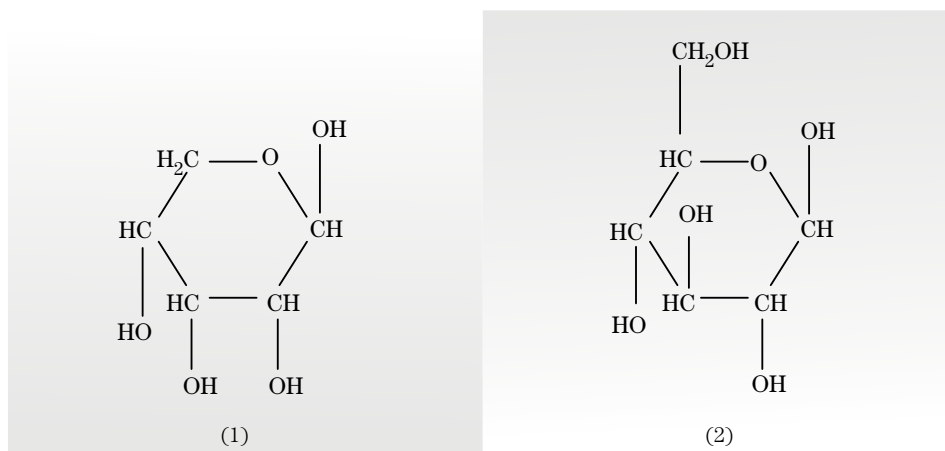
a) Tétrose et triose : \_\_\_\_\_

b) Hexose et heptose : \_\_\_\_\_

c) Nonose et pentose : \_\_\_\_\_

Pour des raisons que nous n'aborderons pas ici, il faut savoir que la réaction de condensation de Maillard n'est possible qu'avec les pentoses (5 carbones) et les hexoses (6 carbones).

1.25) Parmi les 2 sucres suivants pouvant réagir dans une réaction de Maillard, lequel serait responsable selon vous d'une vitesse de réaction plus grande ? Justifiez brièvement votre réponse.




---



---



---

### La nature des acides aminés

Les acides aminés sont fondamentaux dans la vie telle que nous la connaissons. Au nombre de 20, ils sont des constituants essentiels des protéines et des enzymes. Tous les acides aminés ont la même structure générique  $H_2N-CHR-COOH$  : un groupement amine ( $NH_2$ ), un groupement carboxyle ( $COOH$ ), puis entre les deux une chaîne latérale ( $R$ ) caractérisant l'acide aminé en question. Ce sont essentiellement des atomes de carbone, d'oxygène, d'hydrogène et d'azote qui composent cette chaîne latérale.

Contrairement aux sucres, ce n'est pas tant la grosseur de la molécule qui compte dans le cas des acides aminés, mais plutôt la distance entre la fonction carboxyle et la fonction aminée. La longueur de la chaîne latérale joue donc un rôle important dans la vitesse de réaction car plus cette chaîne est longue, plus le groupement carboxyle est éloigné du groupement amine.

1.26) Sachant que la fonction carboxyle (COOH) est un inhibiteur naturel de la réaction, répondez aux questions suivantes.

a) Définissez dans vos propres mots le terme inhibiteur en prenant comme contexte la cinétique d'une réaction.

---

---

---

---

b) Complétez la phrase suivante en indiquant si la réaction sera plus *rapide* ou plus *lente* :

Plus le groupement amine est éloigné de la fonction carboxyle, plus la réaction sera \_\_\_\_\_.

Comme c'est le groupement amine qui réagit avec la molécule de sucre, c'est lui qui doit être le plus éloigné du groupement carboxyle afin de limiter son effet inhibiteur. Dans ce cas précis, l'inhibiteur est un facteur nuisible à la réaction de coloration de la viande. Mais il ne faut pas nécessairement voir l'inhibiteur comme un facteur nuisible. En effet, il peut être avantageux de maintenir une réaction chimique à une vitesse lente voire même d'arrêter une réaction. Par exemple, les sels de déglacage que l'on utilise en hiver sont la première cause de corrosion prématurée des infrastructures en béton armé (pont, parapets, routes, barrages, etc). Afin de retarder ou de contrôler la corrosion de ces infrastructures, on utilise différentes technologies, notamment des « inhibiteurs de corrosion ». Ces inhibiteurs, ajoutés au béton lors de sa préparation, aident à prévenir l'infiltration d'eau et ralentissent la réaction entre l'eau et l'armature métallique du béton armé. Il est aussi envisagé d'ajouter des cendres dans le béton afin de ralentir la réaction exothermique qui existe entre l'eau et le béton et ainsi prévenir la formation de fissures lors du coulage du béton.

Les principes que nous venons de voir sur la nature des sucres et des acides aminés peuvent s'appliquer à d'autres substances ainsi qu'à des réactions chimiques en général. La nature des réactifs influence la vitesse de tous les types de réaction. Cette constatation n'est pas surprenante lorsqu'on sait qu'une réaction est un réarrangement d'atomes qui résulte du bris de certaines liaisons et de la formation de nouvelles liaisons, différentes des premières. Chaque substance est caractérisée par des molécules uniques, constituées d'atomes liés plus ou moins fortement selon le cas. Il en découle que chaque réaction, en raison de la nature unique de ses réactifs, possède un profil qui lui est propre.

La **nature des réactifs** influence la vitesse de réaction. Cette vitesse diminue généralement plus le nombre de liens à briser est grand ou plus la force des liens à briser est importante.





**Le saviez-vous ?**

### Une frite avec ça ?

Quoi de mieux que de belles frites bien chaudes pour accompagner un steak ! Saviez-vous que lorsque les pommes de terre sont frites ou cuites à de hautes températures, de l'acrylamide, l'un des composés générés lors de la réaction de Maillard, est produit ? De récentes études démontrent que l'exposition à l'acrylamide augmenterait les risques de certains types de cancer chez les animaux.



© Nitr/Shutterstock.com

Des chercheurs ont donc travaillé à modifier génétiquement la pomme de terre Simplot (dérivée de la pomme de terre Idaho) afin que celle-ci produise moins d'asparagine, un acide aminé précurseur de l'acrylamide, durant sa croissance et ce, sans en modifier la couleur ni le goût. La production de cette pomme de terre génétiquement modifiée a été approuvée en novembre 2014 par le département d'agriculture américain et sa production agricole est très limitée pour le moment.

Alors que faire en attendant que ces pommes de terre soient disponibles chez nous ? Devons-nous arrêter de consommer ce légume ? Pas du tout ! Selon Stanley Omaye, nutritionniste et toxicologue à l'Université du Nevada aux États-Unis, les risques associés à l'exposition de l'acrylamide chez les humains sont peu convaincants. En somme, tant que vous maintenez de saines habitudes alimentaires, que vous diversifiez votre alimentation et que vous suivez les recommandations du Guide alimentaire canadien, savourer une bonne frite de temps en temps n'est pas dommageable pour la santé.

## La concentration des réactifs

La concentration des réactifs influence toujours la vitesse de réaction. Généralement, la vitesse de réaction est proportionnelle à la concentration. Mais pourquoi ? La concentration molaire ( $c$ ) est définie comme le nombre de moles de substance ( $n$ ) par litre de solution ( $V$ ), ou  $c = n/V$ . Ainsi, plus la concentration est élevée, plus les molécules de réactifs sont rapprochées les unes des autres et plus les chances de collisions sont grandes. Or, pour obtenir une réaction, il doit se produire des collisions entre les molécules de réactifs; certaines de ces collisions entraînent la réaction, ce sont les collisions efficaces. Nous aborderons brièvement la théorie des collisions dans la prochaine séquence d'apprentissage.

Généralement, plus la **concentration** des réactifs est élevée, plus la vitesse de réaction est rapide, car plus le nombre de collisions efficaces est élevé pour une période de temps donné.

La concentration des réactifs peut être modifiée de deux façons : soit par une augmentation ou une diminution de la masse des réactifs, ou soit par une augmentation ou une diminution du volume de solvant. Par exemple, lors de l'étape de la réaction de condensation de Maillard, vous avez sûrement remarqué que l'eau ( $H_2O$ ) est l'un des produits de la réaction. Mais l'eau est également le solvant dans lequel les réactifs sont dissous et que la réaction se produit. Vous aurez donc deviné que la teneur en eau, soit de l'aliment que l'on fait cuire ou du milieu à proprement parler, influence grandement la vitesse de cette réaction de condensation et par le fait même, la vitesse globale du mécanisme de Maillard. Des recherches ont démontré qu'une teneur en eau allant de 30 % à 60 % est idéale; en deçà ou au-dessus de ces valeurs, la réaction de condensation est inhibée et la vitesse de réaction est grandement diminuée, voire nulle.

- 1.27) Dans le cas de réactifs gazeux, quel facteur agit sur la vitesse de réaction comme la concentration le fait pour des réactifs aqueux ? Pourquoi ?

---

---

---

---

---

Pour constater l'effet de la teneur en eau sur la cuisson d'une viande, essayez ceci : à feu moyen, faites cuire dans une poêle chaude deux boulettes de viande hachée. Laissez-en une cuire par elle-même sans y toucher, en la retournant après deux minutes de cuisson environ. Pour l'autre boulette, pressez-la à toutes les 30 secondes pour en faire ressortir les jus (essentiellement de l'eau) et retournez-la également au bout de deux minutes. Vous allez alors remarquer que la boulette qui a été pressée a une surface davantage carbonisée (noircie) que l'autre boulette, ce qui n'est pas souhaitable.

Dans la prochaine séquence d'apprentissage, nous aborderons plus en détail l'influence de la concentration des réactifs sur la vitesse de réaction en présentant mathématiquement la loi des vitesses de réaction.

## La température

Intuitivement, vous savez qu'une hausse de la température se traduit généralement par une augmentation de la vitesse de réaction. À l'inverse, une baisse de la température se traduit par un ralentissement de la vitesse de réaction. Ainsi, lorsque vous préparerez les morceaux de bœuf pour la séance photo, il sera impossible de les faire dorer si la température du four est tiède. À l'inverse, un four très chaud va tellement accélérer la vitesse de réaction que les morceaux de viande vont brûler plutôt que dorer. Il faut donc trouver un juste milieu.

- 1.28) La vie quotidienne regorge d'exemples indiquant que la température influence la vitesse de réaction. Donnez un exemple où la variation de température ralentit la vitesse de réaction et un autre où celle-ci accélère la vitesse de réaction.

Exemple 1 : \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Exemple 2 : \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

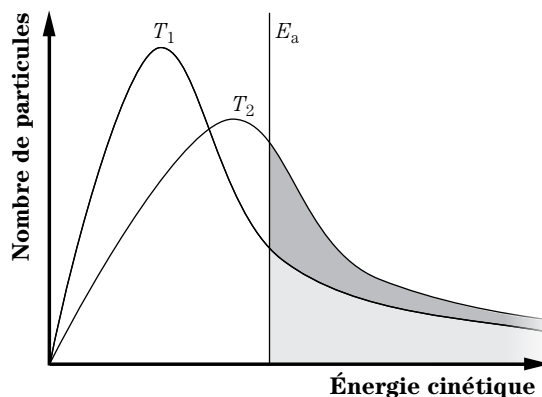


### Astuce

De façon approximative, on peut considérer qu'une augmentation de la température de 10 °C entraîne une vitesse de réaction deux fois plus grande.

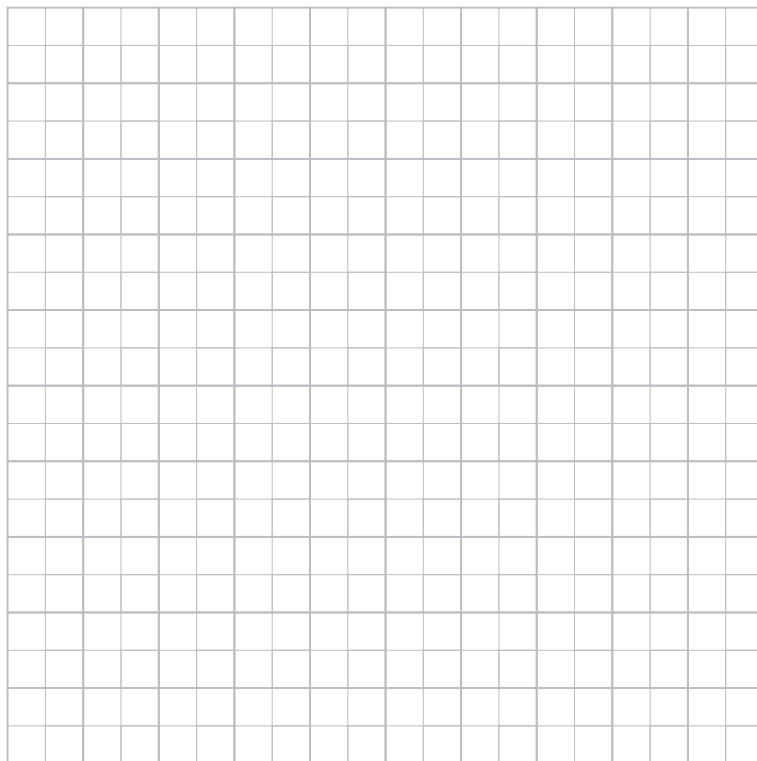
Que se passe-t-il à l'échelle moléculaire ? Selon le modèle corpusculaire, la température est une mesure du degré d'agitation des particules. Une élévation de température augmente l'agitation et inversement, une baisse de température diminue l'agitation des particules. En conséquence, les changements de température influencent la vitesse des réactions chimiques. Le graphique suivant illustre ces phénomènes.

**GRAPHIQUE 1.3 – LES COURBES DE DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE CINÉTIQUE DE PARTICULES À DEUX TEMPÉRATURES DONNÉES.**



On constate sur le graphique que pour une même température, il y a des particules qui ont plus d'énergie que d'autres; on peut alors faire une moyenne de ces énergies pour obtenir une énergie cinétique moyenne. En augmentant la température, donc en passant de  $T_1$  à  $T_2$ , l'énergie cinétique moyenne des particules devient plus élevée; un plus grand nombre de particules a maintenant l'énergie nécessaire pour réagir, c'est-à-dire que leur énergie est égale ou supérieure à l'énergie d'activation de la réaction.

- (1.29) a) Tracez un graphique des courbes de distribution de l'énergie cinétique des particules montrant un abaissement de la température, donc si  $T_1 > T_2$  par rapport à l'énergie d'activation ( $E_a$ ).



- b) Expliquez en vos mots ce qui se passe sur ces courbes de distribution que vous avez tracées.

---

---

---

---

---

---

---

Plus la **température** est élevée, plus le nombre de particules ayant l'énergie requise pour réagir est important. Par conséquent, une hausse de la température se traduit par une vitesse de réaction plus grande.

## Le catalyseur

Certains métaux, comme le cuivre, le fer et le manganèse, sont connus pour modifier la réaction de condensation de Maillard. Évidemment, pour des raisons de salubrité, nous n'ajoutons rien à la viande pour accélérer ou ralentir la vitesse de la réaction de brunissement. Par contre, le fer se retrouve naturellement dans les viandes. On peut donc déduire que le choix de la qualité de la viande aura une incidence directe sur la vitesse de réaction de brunissement; une viande de bonne qualité aura une teneur en fer plus élevée qu'une viande de moins bonne qualité.

- 1.30) a) Comment nomme-t-on une substance que l'on ajoute aux réactifs et qui a pour effet :

d'accélérer la vitesse de réaction : \_\_\_\_\_

de ralentir la vitesse de réaction : \_\_\_\_\_

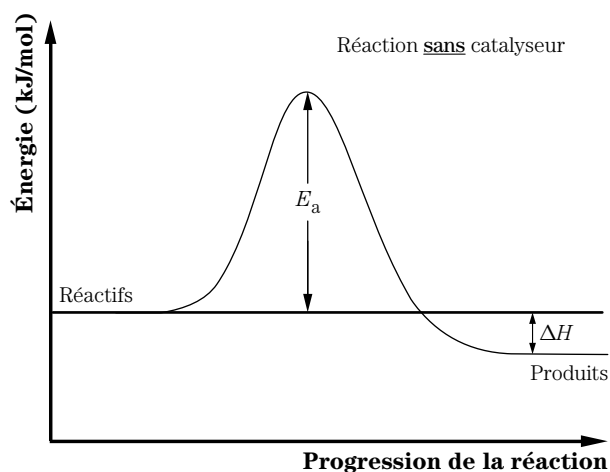
- b) Le cuivre, le fer et le manganèse se retrouvent intacts une fois la réaction de condensation complétée. Vrai ou faux ?

\_\_\_\_\_

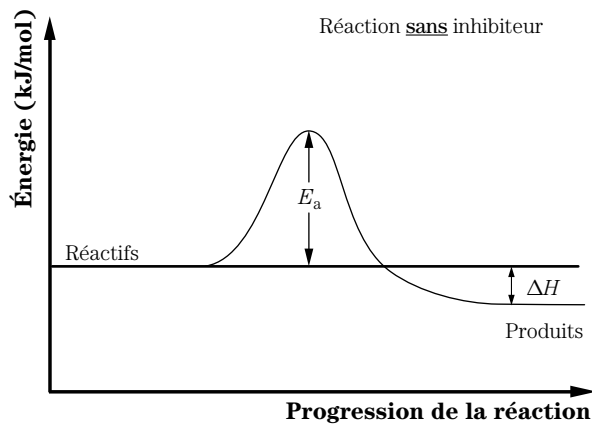
- c) Quel paramètre réactionnel est modifié par la présence de ces métaux ?

\_\_\_\_\_

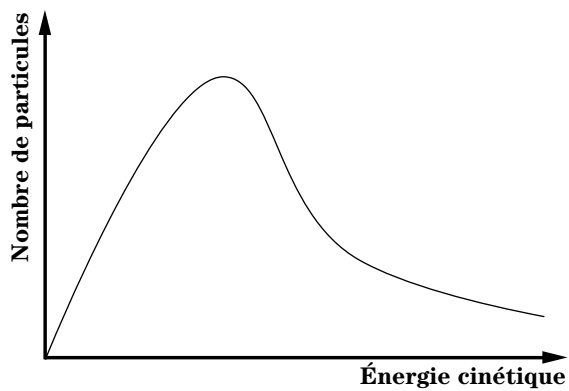
- 1.31) a) Considérant que le cuivre et le fer sont des métaux qui accélèrent la vitesse de la réaction de condensation de Maillard, qu'advient-il de la courbe de progression de la réaction si un de ces catalyseurs est ajouté à la réaction ? Dessinez cette nouvelle courbe sur le graphique ci-dessous.



b) Si la présence de manganèse se traduit par un ralentissement de la réaction, comment cela se traduit-il schématiquement ?

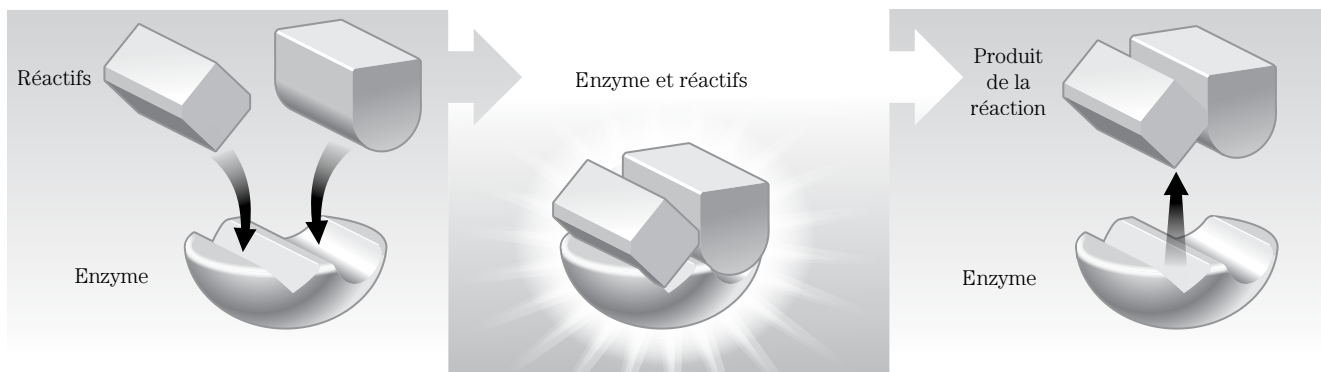


1.32 Sur une courbe de distribution de l'énergie cinétique des particules, comment l'effet d'un catalyseur se manifeste-t-il sur l'énergie d'activation de la réaction? Positionnez sur la courbe l'énergie d'activation  $E_a$  puis l'énergie d'activation en présence d'un catalyseur  $E_{a(\text{cat.})}$ .



Un **catalyseur** permet une augmentation de la vitesse de réaction sans prendre part à la réaction. Il facilite uniquement la rencontre des réactifs entre eux en abaissant l'énergie d'activation du système. À l'inverse, un **inhibiteur** ralentit la vitesse de réaction, sans toutefois prendre part à la réaction.

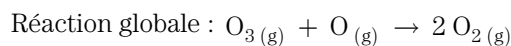
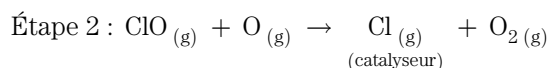
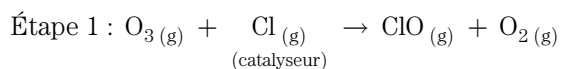
Les enzymes sont de grosses molécules, des protéines en fait, dont la forme permet de catalyser les processus biochimiques dans les organismes vivants. La plupart des réactions se produisant dans notre corps seraient impossibles sans la présence d'enzymes. Par exemple, la ptyaline est une molécule qui accélère la digestion de l'amidon contenu dans le pain et les autres féculents. Elle facilite la décomposition de l'amidon en sucre, un processus qui pourrait prendre des semaines sans catalyseur. En présence de ptyaline, la décomposition de l'amidon ne prend que quelques secondes. Chez l'être humain, c'est environ 15 000 enzymes qui ont été répertoriés à ce jour.



Une enzyme à l'œuvre. L'enzyme facilite la rencontre des réactifs; sa présence accélère donc la réaction.

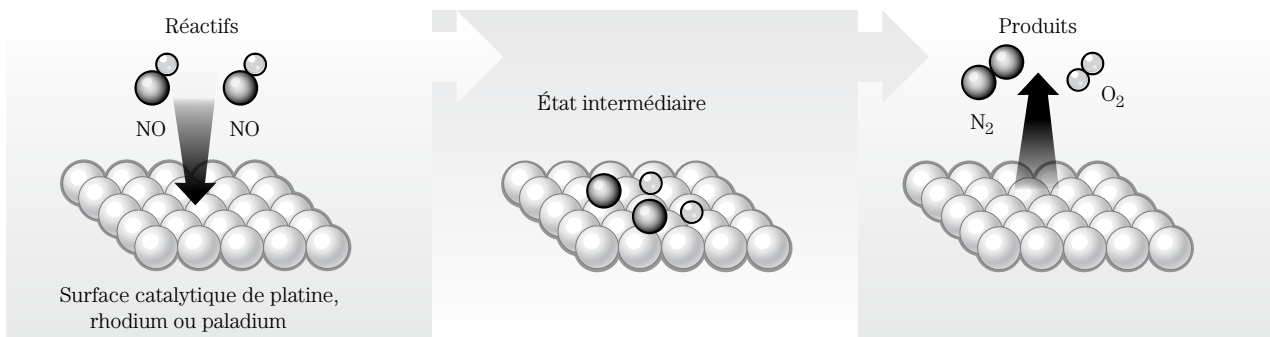
Outre la catalyse des processus biologiques dans le corps humain, les enzymes sont des protéines très utiles dans plusieurs domaines. On a qu'à penser au processus de blanchiment dans l'industrie des pâtes et papiers, à leur utilisation dans les détergents, aux levures utilisées pour la fabrication du pain et autres pâtisseries ou même aux bandelettes utilisées avec les glucomètres pour mesurer la glycémie des personnes diabétiques.

Il n'y a pas que les enzymes qui soient de bons catalyseurs; certains composés organiques et inorganiques peuvent l'être aussi. Par exemple, dans la haute atmosphère, le chlore catalyse la transformation de l'ozone ( $O_3$ ) en oxygène ( $O_2$ ). Ce chlore provient principalement du fréon ( $CF_2Cl_2$ ), un gaz abondamment utilisé comme réfrigérant et rejeté dans l'air lorsque les systèmes brisent. Les molécules de fréon absorbent alors les rayons UV émis par le soleil, se brisent et libèrent des atomes de chlore (Cl). Ces atomes de chlore brisent ensuite les molécules d'ozone. Les équations suivantes décrivent le phénomène :



Ainsi, les atomes de chlore favorisent la décomposition de la couche d'ozone qui nous protège contre les rayons ultraviolets du soleil. De plus, comme le chlore demeure intact, un seul atome peut catalyser la décomposition d'un grand nombre de molécules d'ozone. On comprend mieux pourquoi l'utilisation du fréon est aujourd'hui réglementée.

Le convertisseur catalytique d'une automobile est un autre exemple de catalyse. Sa surface intérieure est tapissée d'un mélange composé de platine, de rhodium ou de palladium. Les molécules d'oxyde d'azote (NO), produites lors de la combustion de l'essence dans le moteur, passent dans le convertisseur et adhèrent à la surface du catalyseur. En étant ralenties et rapprochées les unes aux autres, les molécules de NO sont transformées en gaz inoffensifs, principalement du dioxygène ( $O_2$ ) et du diazote ( $N_2$ ), qui s'échappent dans l'air.



**Figure 1.1** Une schématisation du fonctionnement d'un convertisseur catalytique d'une automobile.

## La surface de contact

En préparant vos morceaux de bœuf, vous remarquez qu'ils ne sont pas tous de la même taille ni de la même épaisseur. Toutefois, vous avez la même quantité de viande pour les trois coupes, c'est-à-dire que le poids des cubes de viande est identique au poids des tranches et du rôti.



© isantilli/Shutterstock.com

Cubes de viande



© Rudchenko Lilia/Shutterstock.com

Tranches de viande



© Kelvin Wong/Shutterstock.com

Rôti de viande



- 1.33) Que pouvez-vous affirmer sur la cuisson au four (coloration) des trois coupes de viande, en assumant que la température du four et le temps de cuisson sont identiques pour les trois coupes ?

---

---

---

---

---

- 1.34) En considérant que tous les autres facteurs qui influent sur la vitesse de réaction sont maintenus constants, que pouvez-vous conclure sur l'effet de la surface de contact sur la vitesse de cuisson des trois coupes de viande ?

---

---

---

---

---

Plus on augmente la surface disponible pour qu'un réactif agisse, plus la réaction s'accélère. En d'autres mots, plus la **surface de contact** est importante, plus la vitesse de réaction est élevée.

### Vos recommandations

Après avoir vu l'ensemble des facteurs qui ont une influence sur la vitesse de la réaction de condensation de Maillard et, par le fait même, sur la qualité de préparation de morceaux de bœuf, vous devez maintenant présenter et justifier vos recommandations pour obtenir une belle coloration de la viande. Vos recommandations doivent tenir compte de ces facteurs en regard à la coupe de viande et à la qualité de la viande à utiliser. Pour ce faire, complétez le tableau suivant.

1.35

FACTEURS INFLUENÇANT LA VITESSE	RECOMMANDATIONS
Nature des réactifs	
Concentration des réactifs	
Température	
Catalyseur	
Surface de contact	

**Exercices de l'activité 1.2**

1.36 Pour chacun des ensembles de réactions chimiques présentés ci-dessous, déterminez la réaction qui se déroule le plus rapidement et justifiez votre choix.

a) Le mûrissement d'une banane laissée sur le comptoir.

Le mûrissement d'une banane laissée dans le réfrigérateur.

---



---



---



---

b) Une maison de brique en feu.

Une maison de paille en feu.

---



---



---



---

c) L'assimilation par le système digestif d'un comprimé d'acétaminophène.

L'assimilation par le système digestif de granules d'acétaminophène.

---



---

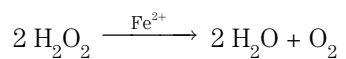


---



---

d)  $2 \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$




---



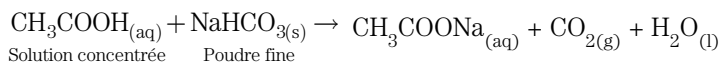
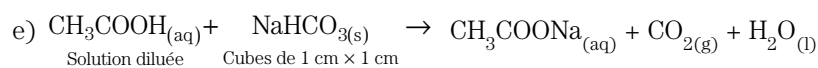
---



---



---




---



---



---



---

1.37) Quel est l'effet d'une augmentation de la température sur les paramètres suivants :

a) Énergie d'activation de la réaction

---



---



---

b) Énergie cinétique des réactifs

---



---



---

c) Vitesse de réaction

---

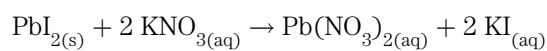


---



---

1.38) Soit la réaction suivante qui se déroule à la température ambiante :



Pour chacune des modifications suivantes, dites de quelle façon la vitesse de réaction sera modifiée : elle augmente, reste stable ou diminue. Justifiez brièvement vos réponses.

a) On ajoute de l'eau au mélange réactionnel.

---



---

b) On réduit les granules de  $\text{PbI}_2$  en poudre fine.

---



---

c) On chauffe le mélange réactionnel à 35 °C.

---



---

d) On ajoute quelques milligrammes de  $\text{KNO}_3$  solide (poudre fine) à la réaction.

---



---

e) On remplace la solution de  $\text{KNO}_3$  par une solution de  $\text{NaNO}_3$ .

---



---

1.39 Complétez le tableau suivant en indiquant, pour chaque mise en situation présentée, le ou les facteurs qui interviennent dans la modification de la vitesse de réaction.

MISES EN SITUATION	FACTEURS INFLUENÇANT LA VITESSE DE RÉACTION
Les bijoux en or s'oxydent moins rapidement que les bijoux en argent.	
Les pommes de terre grelot cuisent plus rapidement que les pommes de terre entières.	
La digestion d'aliments dans l'estomac est facilitée par la présence d'enzymes spécifiques.	
La synthèse d'ammoniac se fait uniquement à de très hautes températures (400–500 °C) et en présence de fer activé.	
Il serait impossible que la mer Morte, une étendue d'eau fortement saline, puisse geler et ce même à une très basse température.	
Un feu de forêt se propage plus rapidement en été qu'en hiver.	
La cuisson des aliments se fait plus rapidement avec un autocuiseur.	

**Retour sur l'activité 1.2**

La vitesse d'une réaction est subordonnée à un ensemble de facteurs qu'il est possible de modifier pour faire varier la vitesse de la réaction. Ces facteurs sont : la nature des réactifs, la concentration (ou la pression du système dans le cas d'un gaz), la température, la surface de contact et le choix d'un catalyseur (ou d'un inhibiteur).

Une augmentation de la concentration, une élévation de la température ou une augmentation de la surface de contact entraînent l'accélération d'une réaction chimique. À l'inverse, une diminution de la concentration, une baisse de la température ou une diminution de la surface de contact provoquent le ralentissement d'une réaction chimique.

Les catalyseurs modifient la vitesse d'une réaction; en général, on les utilise pour augmenter la vitesse. Toutefois, dans certains cas, ils servent à ralentir la réaction; ce sont des inhibiteurs. La catalyse est très utile à l'industrie chimique pour réduire les coûts de production. La nature fait appel aux enzymes, des catalyseurs naturels, pour accélérer des réactions biochimiques.



## Activité 1.3 Tomber dans les pommes...



### But

- Étudier les différents facteurs qui influent sur la vitesse de réaction.

Dans l'activité précédente, vous avez étudié les différents facteurs qui influencent la vitesse de réaction. Dans le cadre d'un concours culinaire, vous avez pour défi de préparer la meilleure tarte aux pommes. Votre défi sera de taille puisque vous devrez vous assurer que vos quartiers de pomme ne brunissent pas.

Les pommes, comme plusieurs autres fruits et légumes, brunissent (ou s'oxydent) au contact de l'air une fois pelées et coupées. La chair des pommes s'oxyde au contact de l'oxygène ( $O_2$ ) contenu dans l'air, mais aussi sous l'action d'une enzyme. Lorsque l'on découpe ou que l'on pèle une pomme, la membrane cellulaire se déchire, libérant et dispersant ainsi l'enzyme qui réagit avec les protéines de la chair, d'où le brunissement.



© Valery121283/Shutterstock.com

En effectuant une recherche d'information sur Internet, vous apprenez qu'il existe plusieurs astuces pour éviter que les quartiers de pomme ne brunissent. Ces astuces sont toutes différentes les unes des autres et font intervenir les différents facteurs qui influencent la vitesse de réaction et qui ont été étudiés lors de la précédente activité. Vous avez donc l'idée de tester plusieurs de ces méthodes qui permettraient de ralentir la vitesse d'oxydation des quartiers de pomme.



### Votre tâche

- Vous devrez préparer un tableau comparatif qui vous aidera à choisir les meilleures conditions pour présenter des quartiers de pomme non brunis pour la préparation d'une tarte aux pommes lors d'un concours culinaire.

Pour réaliser cette activité, référez-vous au cahier d'activités expérimentales qui accompagne le guide d'apprentissage. Lorsque votre activité sera complétée, venez répondre aux questions suivantes.

- 1.40) L'oxydation des aliments n'est pas toujours un phénomène indésirable. Ce phénomène est parfois désiré, voire recherché. Donnez-en un exemple.

---



---



---

- 1.41) Il existe d'autres facteurs qui influencent la vitesse de réaction et qui sont plus spécifiques à certaines réactions. Pouvez-vous en nommer deux ?

---



---

Le déroulement d'une réaction chimique est un processus complexe que l'on peut caractériser par la vitesse de réaction. Toute réaction est plus rapide au début et ralentit par la suite. Les réactions chimiques sont donc des phénomènes dynamiques; il est possible d'influencer leur vitesse en agissant sur l'un des facteurs suivants : la nature des réactifs, la concentration (ou la pression dans le cas d'un gaz), la température, la surface de contact entre les réactifs et l'emploi d'un catalyseur.

Connaissant ces facteurs, plusieurs indices peuvent nous aider à estimer la vitesse d'une réaction chimique. Cependant, les situations réelles sont complexes car il est rare qu'un seul facteur intervienne à la fois; chaque réaction a un profil particulier. Les facteurs permettent donc d'évaluer des tendances sans toutefois conduire à des certitudes. La cinétique chimique, cette branche de la chimie qui s'intéresse aux vitesses des réactions, demeure donc avant tout une science expérimentale.



**Le saviez-vous ?**

#### **Des pommes qui ne bruniront plus : fiction ou bientôt réalité ?**

On verra bientôt chez l'épicier les premières variétés de pommes modifiées génétiquement afin qu'elles ne brunissent pas lorsqu'elles sont coupées ou croquées. Ces pommes sont la Délicieuse Jaune, une cousine de la Délicieuse Rouge utilisée dans cette activité expérimentale, et la pomme verte Granny Smith. Ce n'est donc qu'une question de temps avant que d'autres variétés de pommes, comme la Délicieuse Rouge, aient cette nouvelle propriété.



© emprize/Shutterstock.com

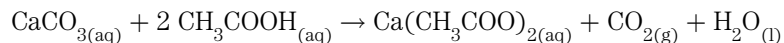


© stevemart/Shutterstock.com



## Exercices d'intégration

- 1.42) Soit la réaction du carbonate de calcium avec de l'acide acétique à température et pression normales. En 2 minutes et 17 secondes, 34,5 ml de  $\text{CO}_2$  sont recueillis par déplacement d'eau.



- a) Quelles sont les valeurs de la température et de la pression normales?

---

---

- b) Quelle est la vitesse de réaction en mL/s par rapport au  $\text{CO}_2$ ?

---

---

---

---

- c) Sachant que la pression partielle de l'eau est de 2,64 kPa, déterminez la pression partielle du  $\text{CO}_2$ .

---

---

---

- d) Déterminez la vitesse de réaction en mol/s.

---

---

---

---

---

- e) Déterminez la vitesse de réaction en mol/L•s?

---

---

---

---

---

- 1.43) Considérez la décomposition du  $N_2O_5$  ainsi que les données suivantes obtenues lors d'une étude cinétique.

**LES CONCENTRATIONS DU RÉACTIF ET DES PRODUITS EN FONCTION DU TEMPS.**

TEMPS (min)	$[N_2O_5]$ (mol/L)	$[NO_2]$ (mol/L)	$[O_2]$ (mol/L)
0	1,24	0,00	0,00
10	0,92	0,64	0,16
20	0,68	1,12	0,28
30	0,50	1,48	0,37
40	0,37	1,74	0,44
50	0,27	1,92	0,48

- a) Donnez l'équation chimique balancée de la décomposition du  $N_2O_5$ .

---

- b) Pour chacune des substances, indiquez si la concentration diminue ou si elle augmente au fil de la réaction.

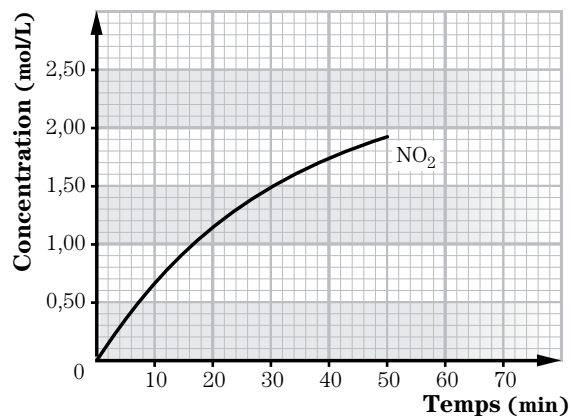
$N_2O_5$	$NO_2$	$O_2$

- c) Ces variations de concentration sont-elles en accord avec l'équation de la réaction?

---

- d) Sur le graphique suivant, la courbe de la concentration de  $NO_2$  en fonction du temps a été tracée. Utilisez les valeurs du tableau de résultats pour compléter le graphique avec les courbes de la concentration des deux autres gaz.

**LES CONCENTRATIONS DU RÉACTIF ET DES PRODUITS EN FONCTION DU TEMPS.**



- e) Sur le graphique, extrapolez les courbes pour les temps  $t = 60$  min et  $t = 70$  min, puis donnez ci-dessous les concentrations des substances à ces temps.

---



---



---

- f) Les concentrations sont-elles très différentes de ce qu'elles étaient à  $t = 50$  minutes?

---

- g) Complétez les valeurs du tableau suivant, en utilisant les lignes sous le tableau pour faire vos calculs. Ensuite, tracez les courbes de vitesse de réaction sur le graphique à la page suivante. La courbe pour la  $[\text{NO}_2]$  est déjà tracée.

**LES VITESSES DU RÉACTIF ET DES PRODUITS EN FONCTION DU TEMPS.**

TEMPS (min)	$v_{\text{N}_2\text{O}_5}$ (mol/L•min)	$v_{\text{NO}_2}$ (mol/L•min)	$v_{\text{O}_2}$ (mol/L•min)
5		0,064	
15		0,048	
25		0,036	
35		0,026	
45		0,018	
55		0,016	

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

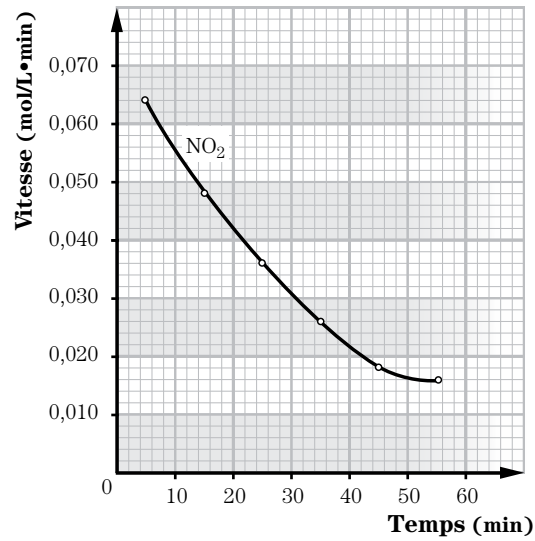


---



---

## LES VITESSES DU RÉACTIF ET DES PRODUITS EN FONCTION DU TEMPS.



h) Quelle est la caractéristique commune aux trois courbes tracées? Justifiez votre réponse.

---



---



---

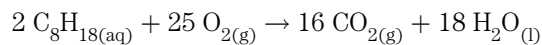


---



---

1.44 Les données qui suivent ont été recueillies lors d'une étude expérimentale de la cinétique de la combustion de l'essence, dont voici l'équation chimique :

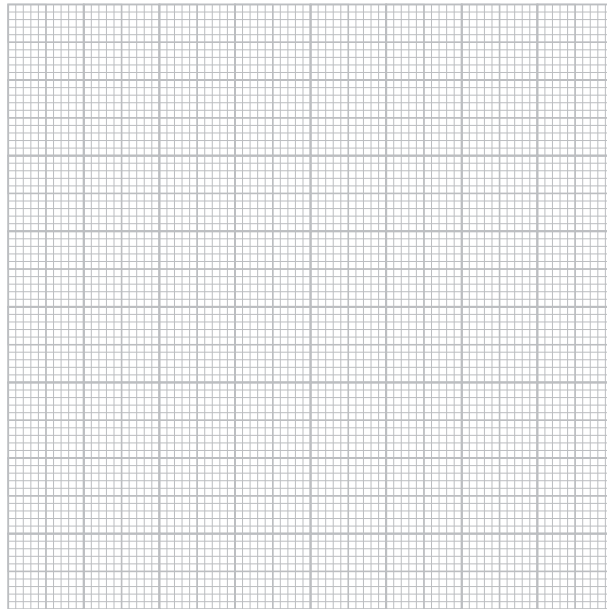
LA CONCENTRATION DU  $\text{C}_8\text{H}_{18}$  EN FONCTION DU TEMPS.

TEMPS (s)	$[\text{C}_8\text{H}_{18}]$ (ppm)
0	1,000
20	0,427
40	0,211
60	0,130
80	0,102



**TITRE DU TABLEAU :** \_\_\_\_\_

**TITRE DU GRAPHIQUE :** \_\_\_\_\_



- 1.45) Représentez, par un croquis, l'effet de chacun des facteurs qui influent sur la vitesse de réaction. Un exemple vous est donné pour la nature des réactifs.

<p style="text-align: center;"><b>SURFACE DE CONTACT DES RÉACTIFS</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>CONCENTRATION DES RÉACTIFS</b></p>
<p style="text-align: center;"><b>TEMPÉRATURE</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>NATURE DES RÉACTIFS</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <math display="block">\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{C} \\ / \quad \backslash \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}</math> <p>Méthane</p> </div> <div style="text-align: center;"> <math display="block">\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{O} \\   \\ \text{C} \\ / \quad \backslash \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}</math> <p>Méthanol</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">Le méthane brûle plus rapidement que le méthanol.</p>
<p style="text-align: center;"><b>CATALYSEUR (ENZYMATIQUE)</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>CATALYSEUR (NON ENZYMATIQUE)</b></p>

1.46) Donnez un exemple tiré de la vie courante qui démontre l'effet de chacun des facteurs sur la vitesse de réaction. Donnez des exemples différents de ceux que vous avez vu jusqu'à maintenant.

a) Nature des réactifs :

---

---

---

b) Surface de contact :

---

---

---

c) Température :

---

---

---

d) Concentration des réactifs :

---

---

---

e) Présence d'un catalyseur (ou inhibiteur) :

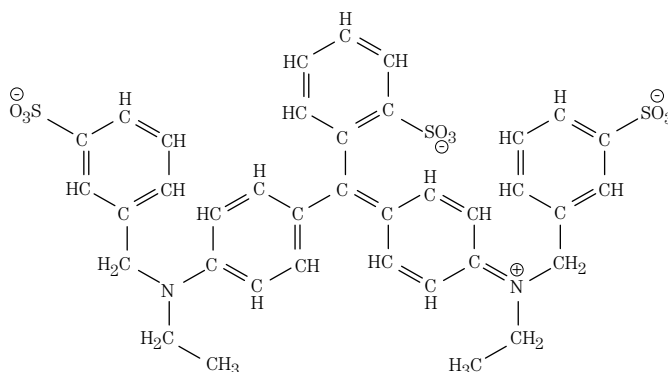
---

---

---



- 1.47) Une jeune étudiante se prépare pour un concours scientifique où elle présentera une étude sur les effets de certains facteurs influençant la vitesse de décomposition d'un colorant alimentaire bleu, dont la structure chimique est la suivante.



Colorant bleu

Elle a du colorant alimentaire bleu, de l'eau de Javel et 7 pots de verre d'environ 50 mL chacun avec un couvercle étanche.

- a) Dans les pots n° 1 et n° 2, elle prépare 25 mL d'une solution aqueuse du colorant de concentration connue. Elle ajoute 2,5 mL d'eau de Javel et ferme hermétiquement les pots dont la solution est initialement colorée bleu. Elle met de côté le pot n° 1; ce sera la solution témoin. Puis, elle agite vigoureusement le pot n° 2. Elle le dépose à côté de la solution témoin et mesure ensuite le temps que prend la coloration bleue pour disparaître dans chacun des deux pots.

Quel résultat est attendu ?

---



---

Que se passe-t-il ?

---



---



---



---



---



---



---



---

b) Elle prépare trois autres solutions identiques à la solution du pot n° 2; elle numérote ces pots n° 3, n° 4 et n° 5.

À la solution du pot n° 3, elle ajoute davantage de colorant alimentaire. Elle agite vigoureusement et mesure ensuite le temps nécessaire pour que la coloration bleue disparaisse. Dans le pot n° 4, elle augmente la quantité d'eau de Javel. Elle agite vigoureusement et mesure également le temps nécessaire pour que la coloration bleue disparaisse. Dans le pot n° 5, elle augmente la quantité d'eau. Elle agite vigoureusement et mesure encore une fois le temps nécessaire pour que la coloration bleue disparaisse.

Comparez les vitesses de réaction de ces trois solutions. Comment se comparent-elles à la vitesse de la solution témoin (pot n° 1) ?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

c) Elle prépare deux nouvelles solutions identiques à celle de la solution du pot n° 2; elle numérote ces pots n° 6 et n° 7. Auparavant, elle chauffe le colorant alimentaire ainsi que l'eau de Javel\* avant de les mélanger à chaud (pot n° 6), tandis qu'elle refroidit au congélateur les deux réactifs avant de les mélanger à froid (pot n° 7). Dans les deux cas, elle agite vigoureusement les solutions et mesure le temps nécessaire pour que la coloration bleue disparaisse.

Comment se compare les vitesses de réaction par rapport à la solution témoin du pot n° 2 pour les mélanges réactionnels chauds (pot n° 6) et froids (pot n° 7) ?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

*\* Il n'est pas recommandé de chauffer de l'eau de Javel, puisque les vapeurs peuvent être toxiques. Nous l'avons fait théoriquement pour les besoins de l'exercice.*



## Résumé des nouveaux savoirs

### Activité 1.1 – Un débit moléculaire

Une **réaction chimique** est le processus par lequel la matière se transforme par réarrangement d'atomes. Les molécules de départ se nomment réactifs et se brisent pour former de nouvelles espèces chimiques, soit les produits, ayant des propriétés chimiques qui leurs sont propres.

La **vitesse de réaction** ( $v$ ) se définit comme la mesure d'une variation de la quantité de réactifs (en masse, en nombre de particules, en volume, en pression ou en concentration) disparaissant ou la quantité de produits apparaissant par unité de temps.

De manière générale, on peut définir mathématiquement la vitesse de réaction comme suit :

- En fonction de la disparition des réactifs :

$$v = - \frac{\Delta \text{réactif}}{\Delta \text{temps}}$$

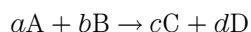
- En fonction de l'apparition des produits :

$$v = \frac{\Delta \text{produit}}{\Delta \text{temps}}$$

Notez le signe négatif lorsque la vitesse de réaction est définie par rapport à la transformation des réactifs, car une vitesse ne peut jamais être négative.

Il est plus simple de caractériser une réaction si la vitesse reste la même et ce, peu importe si elle est donnée par rapport aux réactifs ou aux produits. Pour ce faire, la vitesse générale ( $v_g$ ) de réaction est très utile.

Soit la réaction générale suivante :



$$v_g = \frac{v_A}{a} = \frac{v_B}{b} = \frac{v_C}{c} = \frac{v_D}{d}$$

où  $v_g$  est la vitesse générale de réaction en mol/L·s ou toute autre unité de concentration par unité de temps donnée,  $v_A$ ,  $v_B$ ,  $v_C$  et  $v_D$  sont les vitesses de réaction par rapport aux réactifs A et B et aux produits C et D respectivement, et  $a$ ,  $b$ ,  $c$  et  $d$  sont les coefficients de stœchiométrie des réactifs et des produits.



### Activité 1.2 – La vitesse, c'est une question de goût!

Une réaction chimique est un processus dynamique qui change dans le temps et les mesures de vitesse caractérisent cette évolution. Cependant, plusieurs facteurs contribuent à faire varier la vitesse d'une réaction.

La **nature des réactifs** influence la vitesse de réaction. Cette vitesse diminue généralement plus le nombre de liens à briser est grand ou plus la force des liens à briser est importante.

Généralement, plus la **concentration** des réactifs est élevée, plus la vitesse de réaction est rapide, car plus le nombre de collisions efficaces est élevé pour une période de temps donné.

Plus la **température** est élevée, plus le nombre de particules ayant l'énergie requise pour réagir est important. Par conséquent, une hausse de la température se traduit par une vitesse de réaction plus grande.

Un **catalyseur** permet une augmentation de la vitesse de réaction sans prendre part à la réaction. Il facilite uniquement la rencontre des réactifs entre eux en abaissant l'énergie d'activation du système.

Plus il y a de surface disponible pour qu'un réactif agisse, plus la réaction s'accélère. En d'autres mots, plus la **surface de contact** est importante, plus la vitesse de réaction est élevée.

