



LA CHIMIE DES CONFITURES

Les Romains conservaient les jus de fruits en les chauffant pour faire évaporer l'eau et, en augmentant ainsi leur teneur en sucre, ils obtenaient ce que nous appelons un raisiné plutôt qu'une confiture.

Bien que connue au Moyen Age, la confiture ne devient denrée courante qu'avec la vulgarisation du sucre, au début du XIX^e siècle (avec l'apparition de la betterave à sucre). On sait en effet que la réalisation de la confiture nécessite de mélanger les fruits avec du sucre, puis de cuire le tout jusqu'au phénomène de gélification ou « prise ».

Si l'on veut comprendre l'ensemble des phénomènes qui mènent à la confiture, il faut :

- Bien connaître les produits de base, c'est-à-dire les fruits. C'est la première étape où la chimie, science des transformations de la matière, s'associe avec l'agronomie, la botanique et la biologie.
- Comprendre la transformation des aliments, ici les fruits, en mets ou plats. C'est la deuxième étape où la chimie s'associe avec la physique pour s'appeler la physico-chimie.

Pour ne pas alourdir le texte et en faciliter la compréhension, nous avons mis en annexe les formules chimiques des principaux constituants des fruits. Les lecteurs intéressés pourront donc facilement s'y reporter.

PREMIERE ETAPE : PRINCIPAUX CONSTITUANTS DES FRUITS

En botanique, le fruit est l'organe végétal protégeant la graine. Il succède à la fleur (fig. 1) après fécondation de l'organe femelle, le pistil, par l'organe mâle, l'étamine. Les ovules se transforment en graines et l'ovaire en fruit (fig. 2).

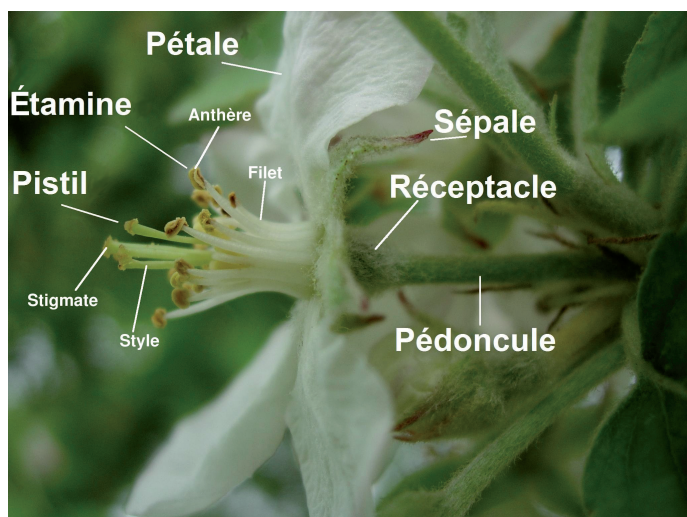


Fig. 1 - Fleur de pommier

D'après Asaphon (Wikipédia)
Licence Creative Commons

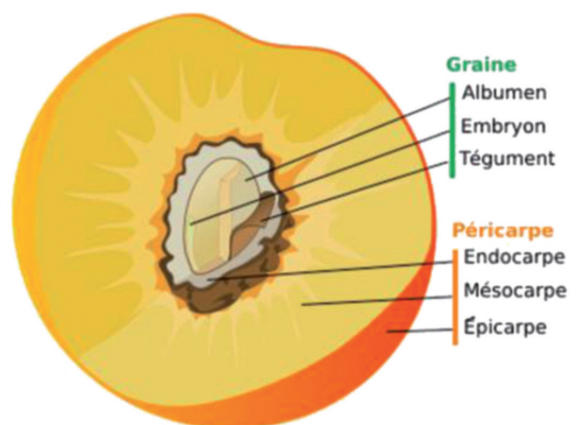


Fig. 2 - Vue en coupe d'un fruit charnu : exemple de la pêche

D'après Wikipédia
Licence Creative Commons



I - EAU ET SELS MINÉRAUX

Mis à part le cas des fruits secs dont on ne mange que la graine (amande, noisette, noix), l'eau est le plus important constituant des fruits (de 80 à 90 %). Les autres éléments importants sont le potassium K, le phosphore P, le calcium Ca, et le magnésium Mg (voir tableau).

	Eau g/100 g	Magnésium mg/100 g	Phosphore mg/100 g	Potassium mg/100 g	Calcium mg/100 g
Framboise	83	21	29	224	41
Groseille	84	14	30	280	28
Raisin	79	10		250	10
Abricot	86	11	23	300	15
Cerise	83	12	21	250	18
Pêche	86	10	20	230	6
Prune	83	9	18	250	14
Orange	87	12	22	187	43
Banane	75	35	30	380	7
Poire	83	7	9	130	9
Pomme	84	5	10	120	5
Figue	79	21	34	285	45
Fraise	90	13	25	155	30

II - GLUCIDES (OU SUCRES)

Les glucides existent dans les fruits, soit sous forme de « sucres rapides » comme le glucose (raisin et fruits à noyau), le fructose (pomme, poire, fraise), le saccharose (abricot, pêche, pomme, poire, fraise), soit sous forme de « sucres lents » plus complexe comme l'amidon (banane non mûre, châtaigne), ou encore la cellulose qui est contenue dans les membranes cellulaires des fruits (figure A₁ en annexe).

III - COMPOSÉS PECTIQUES

Nous verrons plus loin que la gélification d'un mélange de fruits et de sucre, donc la prise de la confiture, est directement liée à la présence de composés pectiques dans les fruits. Plus le fruit contient de « pectines », plus la confiture sera facile à réaliser.

Le tableau de la page suivante indique la teneur en pectines des principaux fruits.

	Pectines, en % de fruit frais	
Pomme	0,5 - 1,6	Teneurs supérieures à 1,5 % Fruits très riches en pectines
Pelure de citron	2,5 - 4,0	
Pelure d'orange	3,5 - 5,5	
Abricot	1,0	Teneurs voisines de 1 % Fruits riches en pectines
Prune	0,9	
Goyave	0,8 - 1,0	
Poire	0,5	Teneurs comprises entre 0,5 et 1 % Fruits moyennement riches en pectines
Mûre	0,7	
Fraise	0,6 - 0,7	
Cerise	0,3	Teneurs inférieures à 0,5 % Fruits pauvres en pectines
Pêche	0,1 - 0,5	
Mangue	0,25 - 0,45	
Tomate	0,2 - 0,6	
Cassis	0,1	

IV - LES LIPIDES

Ce sont des constituants caractéristiques des matières grasses naturelles. Ils sont sous forme d'esters qui participent à l'odeur des fruits. Si l'on met à part les fruits dont la graine est comestible (amande, noix, noisette, cacahuète), les fruits sont pauvres en lipides, à part l'olive et l'avocat.

V - LES ACIDES AMINES ET LES PROTEINES

La teneur en protéines des fruits les plus courants (pomme, poire, prune, figue, abricot, cerise) est de l'ordre de 0,5 à 1,5 %. En général, le péricarpe des fruits, contenant donc la chair, est pauvre en protéines tandis que les graines en sont gorgées. C'est le cas des fruits consommés sous forme de graines (amande, cacahuète, châtaigne, figue, noisette, noix, pignon de pin).

VI - VITAMINE C OU ACIDE ASCORBIQUE

Certains fruits sont très riches en vitamine C (fig.A₂ en annexe), d'autres moins (les teneurs en vitamine C sont exprimées en mg pour 100 g) :

Cassis	Citron	Fraise	Orange	Pêche	Poire	Pomme	Prune	Cerise	Raisin	Papaye	Goyave
100 à 400	40 à 70	40 à 90	20 à 90	6 à 60	8 à 22	5 à 60	1 à 18	0,8 à 3,2	3	100 à 500	100 à 500

La teneur en vitamine C diminue de la périphérie du fruit vers le centre, les régions les plus colorées étant les plus riches. Ainsi dans la pomme, la peau contient 2 à 3 fois plus de vitamine C que la pulpe. Mais attention, la vitamine C ne supporte le chauffage à 100 °C qu'à l'abri de l'air et en milieu acide : elle est très sensible à l'oxydation.

VII - LES ACIDES ORGANIQUES

L'acidité des fruits est un important facteur pour la saveur et, nous le verrons plus loin, pour l'aptitude à la gélification des confitures. Les principaux acides rencontrés sont l'acide malique (pomme, coing, prune, cerise, banane, pêche), l'acide tartrique (raisin), l'acide succinique (cerise, groseille), l'acide citrique (agrumes, figue,

ananas, cassis, framboise, myrtille).

Les fruits sont inégalement acides. Les moins acides sont la banane, l'avocat, le kaki ; l'orange amère, le citron sont plus acides.

Le tableau suivant indique le pH (degré d'acidité) du jus de quelques fruits, donc mesuré en milieu aqueux. Il est compris entre 2,4 pour le citron, fruit le plus acide, et 4,7 pour la poire très mûre.

Citron	Myrtille	Groseille	Pomme	Raisin	Pêche	Abricot	Poire précoce	Orange douce	Cerise	Fraise	Tomate	Poire mûre
2,4	2,95	3,0	3,3	3,45	3,7	3,55	3,65	3,7	3,7	4,15	4,2	4,7

VIII - LES PIGMENTS

Ce sont des composés chimiques, des polyphénols, en général excellents anti-oxydants, qui donnent sa couleur au fruit et participent à notre bon état de santé. Ils sont présents dans les fruits à raison de quelques dizaines à quelques centaines de mg pour 100 g de matière. Ainsi le jaune de la pomme est dû à la présence de quercétol, la couleur rouge des fraises, des cerises, des oranges sanguines est due à la présence de cathéchine, la couleur orangée à la présence d'une autre famille de composés : les caroténoïdes. Par exemple, le β -carotène, qui se transforme en vitamine A (fig. A₃ en annexe), vitamine de croissance, après ingestion par l'homme, a été trouvé dans l'ananas, la banane, l'orange, l'abricot, le cynorrhodon (fruit de l'églantier), la mandarine, la mangue, l'abricot, la tomate, le kaki, etc.

IX - LES CONSTITUANTS ODORANTS OU ESSENCES

Les substances chimiques qui donnent à chaque fruit son odeur particulière sont volatiles et très actives sur l'odorat humain. Ce sont des mélanges comportant des carbures terpéniques comme le limonène dans l'orange, des aldéhydes comme le citral dans le citron (figure A₄ en annexe), des alcools terpéniques comme le géraniol (pomme Mac Intosh).

Ainsi, voyons-nous que les fruits sont constitués d'un mélange extrêmement complexe de composés chimiques variés dont les propriétés sont à l'origine des innombrables bienfaits que l'homme peut tirer de leur consommation.

DEUXIEME ETAPE : LA TRANSFORMATION DES FRUITS EN CONFITURE

On rappelle que les fruits sont des tissus végétaux formés de cellules qui sont limitées par des parois composées essentiellement de cellulose, d'hémicelluloses et de pectines.

Les pectines sont des hétéropolyosides (sucres) à teneur élevée en acide galacturonique (fig. 3a) dont la fonction acide -COOH peut être transformée par de l'alcool méthylique (CH₃OH) en fonction ester -COOCH₃ (fig. 3b).

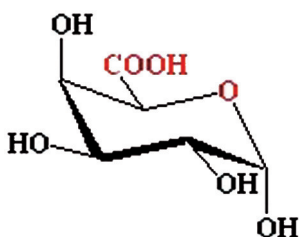


Fig. 3a - Acide galacturonique

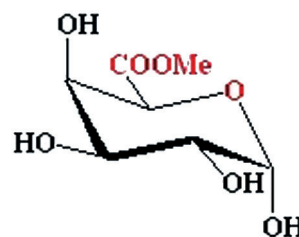


Fig. 3b - Acide galacturonique méthylé

Ce sont des molécules polymères à longues chaînes pouvant renfermer jusqu'à plusieurs centaines de monomères (l'acide galacturonique). Tous les 80 à 100 monomères, la partie « lisse » (en jaune) de la chaîne galacturonique est interrompue par des zones « hérissées » contenant des sucres neutres comme l'arabinose (en bleu), le rhamnose (en blanc) ou le galactose (en vert), dont l'organisation peut être complexe (fig. 3c).

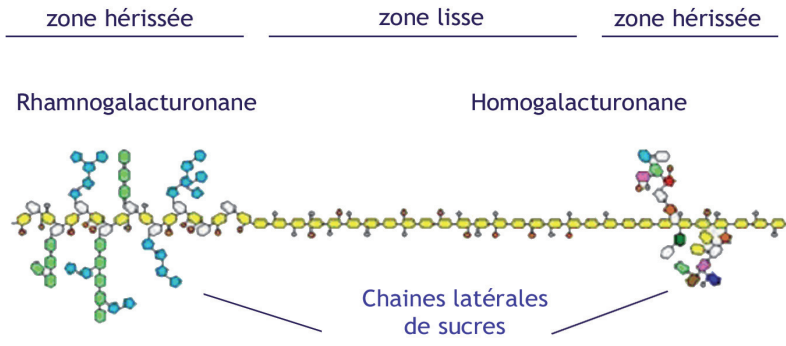


Fig. 3c - Chaîne polymérique de pectine
D'après Hervé This, Equipe INRA de Gastronomie moléculaire

Les pectines appartiennent à un des trois groupes définis par leur degré d'estérification (ou de méthylation), c'est-à-dire par leur proportion de fonctions $-COOCH_3$ par rapport à leurs fonctions $-COOH$: pectines hautement méthoxylées ou HM dont le degré de méthylation est supérieur à 50 %, pectines faiblement méthoxylées ou FM dont le degré de méthylation est compris entre 5 et 50 %, et les acides pectiques dont le degré de méthylation est inférieur à 5 % (fig. 4).

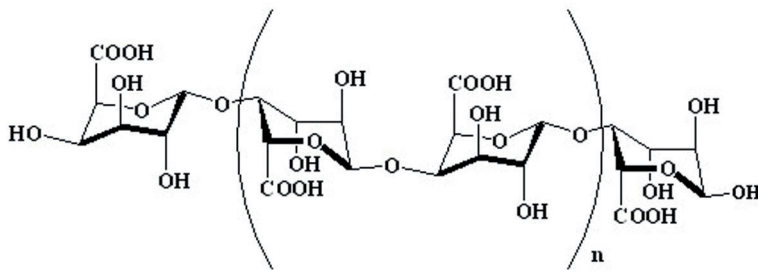


Fig. 4 - Acide pectique ou acide polygalacturonique

La prise en gelée, ou gélification, correspond à la formation d'un réseau tridimensionnel de chaînes de pectines avec piégeage des molécules d'eau.

Pour cela, le polymère pectique est tout d'abord libéré par la chaleur de ses associations dans le fruit. Ces associations se font par liaison hydrogène avec d'autres chaînes de pectines ou avec des celluloses ou des protéines (fig. 5a). Ayant perdu leurs liaisons d'association, les molécules sont plus mobiles, leurs mouvements augmentent sous l'effet de la température (fig. 5b). Au cours du refroidissement, l'agitation moléculaire diminue et permet les interactions entre les macromolécules : elles s'associent peu à peu et, après l'obtention d'une structure rigide, on dit que « la confiture a pris » (fig. 5c).

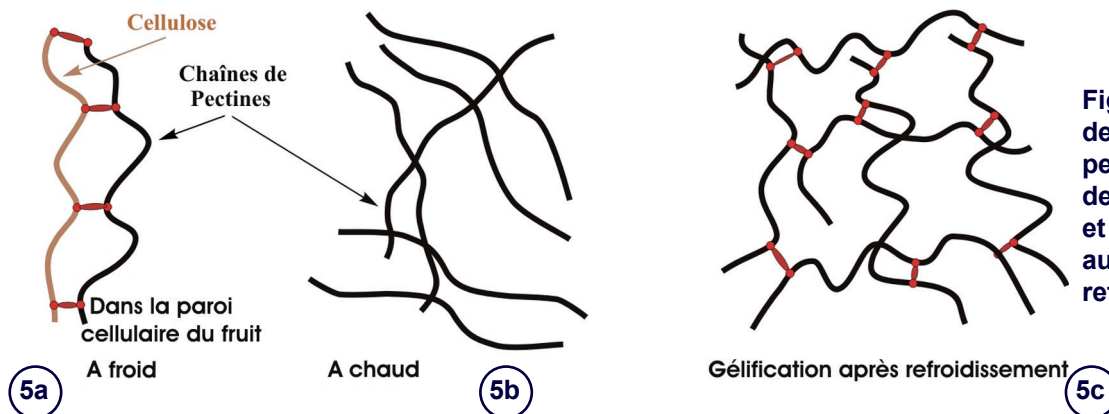


Fig. 5 - Dissociation des chaînes de pectine sous l'action de la chaleur et gélification au cours du refroidissement

Le mécanisme de formation du gel dépend des conditions du milieu : le degré d'acidité (pH), la teneur en sucre (saccharose), la concentration de la pectine et son degré de méthylation.

I - CAS DES PECTINES HAUTEMENT METHOXYLEES HM

La gélification nécessite la formation de liaisons hydrogène entre les chaînes de pectines. Elles seront apportées par des molécules de saccharose (de 55 à 67 % de saccharose) : celles-ci, en absorbant l'eau, favorisent les interactions entre les chaînes. En outre, elles sont plus aptes à former des liaisons hydrogène dans un milieu acide, de pH compris entre 2,5 et 3,5 (fig. 6) : d'où l'ajout classique de jus de citron dans les confitures pour les faire prendre.

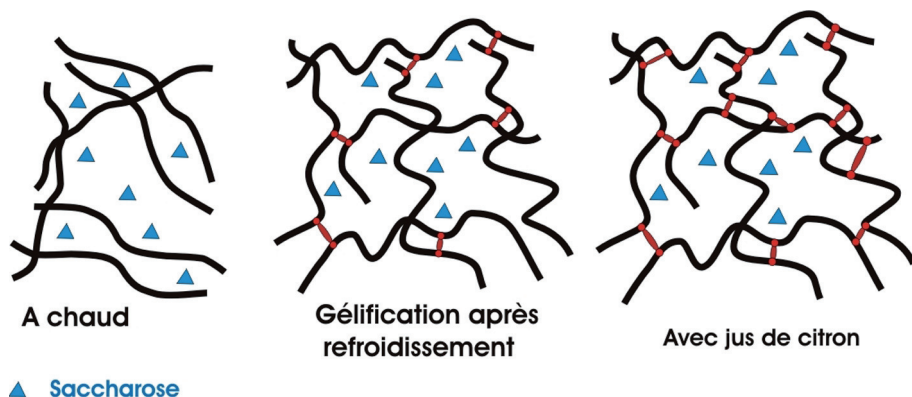


Fig. 6 - Gélification par formation de liaisons hydrogène sous l'action conjuguée du sucre et de l'acidité du citron : cas des pectines HM

La concentration finale en pectine HM doit être comprise entre 0,2 et 1 % : plus elle est élevée, plus le pH nécessaire à l'obtention du gel sera élevé (milieu moins acide) et moins il faudra de saccharose. Si cette concentration en pectines est moins élevée (cas des fruits pauvres et même moyennement riches en pectines), il faudra en ajouter (ou faire un mélange avec des fruits plus riches en pectines). Pour remédier à ce problème, on utilise souvent du « sucre à confiture » qui n'est autre que du sucre auquel on a ajouté des pectines. Ces pectines peuvent provenir du marc de pomme, du marc de betterave, de la pelure de citron ou d'orange, des graines de caroube, d'extraits d'algues rouges, etc.

II - CAS DES PECTINES FAIBLEMENT MÉTHOXYLÉES FM

Dans ce cas, les fonctions acide $-COOH$ sont prépondérantes. Elles sont facilement dissociées en COO^- et H^+ , et, de ce fait, comportent ainsi un nombre important de charges négatives localisées, ce qui rend leur association beaucoup plus difficile.

On favorise leur rapprochement en ajoutant des cations divalents comme le calcium Ca^{2+} : ces ions forment des ponts entre les charges négatives localisées des molécules (fig. 7). La teneur en calcium doit être comprise entre 0,1 et 0,2 %.

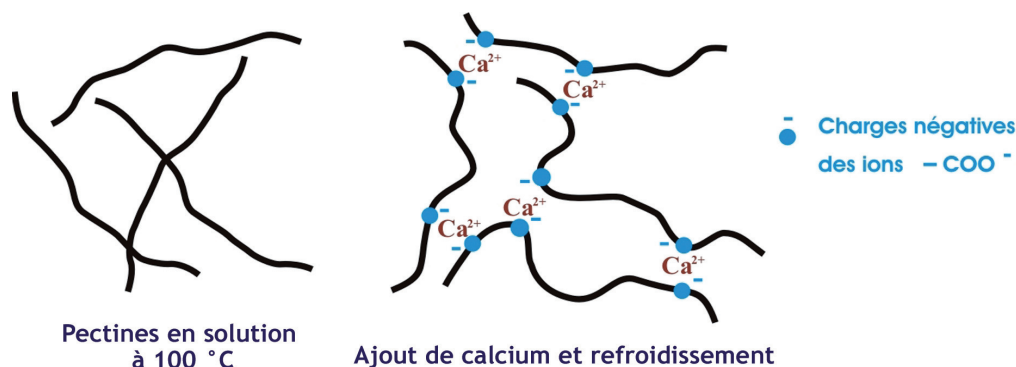


Fig. 7 - Gélification par formation de liaisons ioniques sous l'action des ions calcium Ca^{2+} : cas des pectines FM

Contrairement aux pectines HM, l'ajout de sucre n'est pas forcément nécessaire pour la gélification, car la quantité de sucre présente dans les fruits est suffisante pour absorber l'eau et favoriser le rapprochement entre les chaînes de pectines.

La concentration finale en pectine doit être également comprise entre 0,2 et 1 % : il faut donc ajouter des pectines (ou mélanger avec des fruits plus riches en pectines) dans le cas où les fruits n'en contiennent pas suffisamment (cas des fruits pauvres et même moyennement riches en pectines).

Le tableau ci-dessous résume les conditions optimales d'obtention des confitures selon la nature et le taux de pectines.

	Taux élevé en pectines	Taux moyen ou faible en pectines
Pectines HM	ajout de sucre ajout de citron	ajout de sucre ajout de citron ajout de pectines
Pectines FM	pas d'ajout de sucre ajout d'ions Ca^{2+}	pas d'ajout de sucre ajout d'ions Ca^{2+} ajout de pectines

III - PREMIERE REMARQUE

L'utilisation de bassines en cuivre pour faire la confiture s'explique parfaitement. En milieu acide, le cuivre de la bassine s'oxyde pour donner des ions Cu^{2+} (à la place des ions Ca^{2+}) servant de pont entre les chaînes de pectines. Mais rappelons que ces ions sont également toxiques ; ce sont les mêmes qui forment le vert-de-gris, hydroxycarbonate cuivrique, reconnaissable à sa couleur verte. Il est donc impératif de ne plus utiliser de casseroles en cuivre pour faire les confitures. Prenons plutôt des casseroles en inox et ajoutons des ions calcium inoffensifs et de surcroît excellents pour la santé.

IV - DEUXIEME REMARQUE

Les teneurs élevées des confitures en saccharose leur confèrent une excellente stabilité microbiologique. Seuls des micro-organismes comme les levures et les moisissures aérobies peuvent se développer à l'interface air-confiture, donc en haut du récipient. Le plus simple est de les détruire par « auto pasteurisation ». Il suffit pour cela de remplir le pot avec la confiture très chaude (85-90 °C), de le fermer avec son couvercle et de le retourner de manière à ce que le produit encore très chaud vienne au contact des zones supérieures du pot et puisse tuer les éventuels contaminants microbiens. Le pot peut alors être redressé après refroidissement et entreposé jusqu'à consommation.

ANNEXE : FORMULES CHIMIQUES DES PRINCIPAUX CONSTITUANTS DES FRUITS

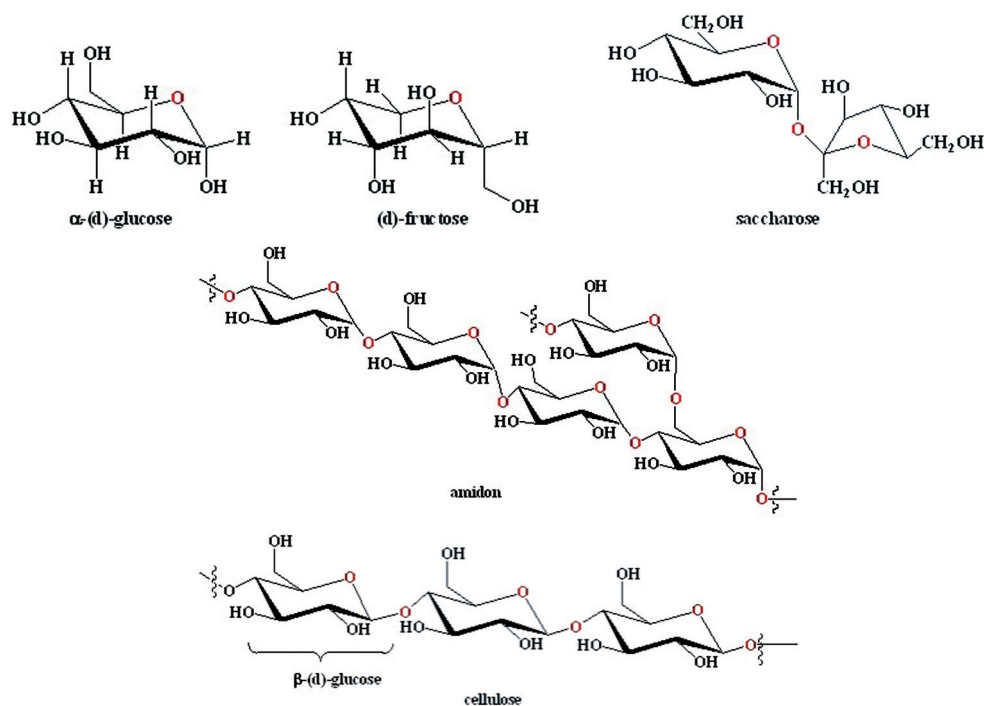


Fig. A₁ - Formules chimiques de quelques glucides communs des fruits

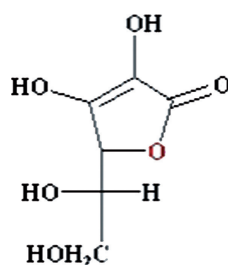


Fig. A₂ - Formule chimique de l'acide ascorbique (ou vitamine C)

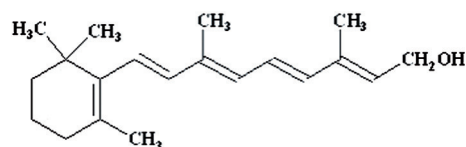


Fig. A₃ - Formule chimique de la vitamine A

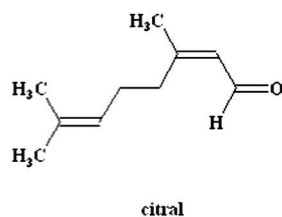
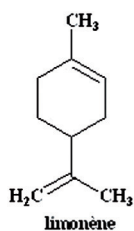


Fig. A₄ - Formules chimiques du limonène et du citral

PROPOSITIONS D'EXPERIENCES SUR LA CHIMIE DES CONFITURES

On illustre le thème du fonctionnement du vivant, ici une espèce végétale, le fruit, en observant son mode de reproduction, et les différents éléments qu'il contient en relation avec la nutrition de l'homme. On aborde également les problèmes de préservation de la nature, ainsi que certaines des propriétés de l'eau et des milieux aqueux.

Dans une deuxième partie, on illustre la manière de garder une action bénéfique des sels de cuivre pour faire de bonnes confitures, tout en évitant la nocivité de cet élément pour notre alimentation.

Les échanges transcrits ci-dessous, entre le professeur P et ses élèves E, sont donnés à titre indicatif pour illustrer les étapes possibles du travail de classe et doivent être adaptés à l'âge et au niveau de connaissance des élèves.

Remarque : on a écrit en italique les notions que le professeur peut aborder, sans toutefois que le vocabulaire spécifique correspondant soit à maîtriser et à retenir par les élèves.

I - MATERIEL REQUIS :

- une fleur d'arbre fruitier,
- un fruit à pépins,
- un fruit à noyau,
- plusieurs béchers (ou verres) de 50 mL,
- un rouleau de papier pH,
- du jus de citron, de pomme, de tomate,
- du coca-cola,
- du vinaigre,
- un peu de lessive liquide,
- une coquille d'œuf,
- 4 petits mortiers en agate avec pilon,
- un four micro-ondes,
- un fil de cuivre, un fil d'acier (inox si possible), un flacon d'acide nitrique dilué, pour une expérience réalisée par le professeur,
- le tableau 1 décrivant la composition en eau et sels minéraux de différents fruits,
- le tableau 2 décrivant la composition en pectines de différents fruits,
- le tableau 3 décrivant la composition en vitamine C de différents fruits,
- le tableau 4 décrivant les degrés d'acidité de différents fruits.

II - CONNAISSANCES ABORDEES :

- Mode de reproduction des fruits,
- Principaux éléments constitutifs des fruits,
- Acidité des milieux aqueux,
- Le phénomène de prise de la confiture,
- La toxicité des composés du cuivre,
- Les formules chimiques de l'eau (H₂O) et du dioxyde de carbone (CO₂).

III - DUREE APPROXIMATIVE DE LA SEANCE COMPLETE : 1H30

Si nécessaire, la première partie (observation des fruits et de leurs principaux composants avec mesure de

l'acidité des milieux aqueux, d'une durée de l'ordre de 50 à 60 mn) peut être dissociée de la deuxième partie (conditions de réalisation d'une confiture) dont la durée est voisine de 30 mn.

Remarque : La période idéale pour réaliser ces expériences serait le printemps lorsque les élèves peuvent trouver facilement différentes fleurs d'arbres fruitiers. Sinon, on a toujours la possibilité d'aller chercher des reproductions de fleurs sur le Web, en utilisant le site Wikipédia par exemple.

I - OBSERVATIONS SUR LES FRUITS ET LEURS PRINCIPAUX COMPOSANTS

On illustre le thème du fonctionnement du vivant, ici une espèce végétale, le fruit, en observant son mode de reproduction, et les différents éléments qu'il contient en relation avec la nutrition de l'homme. On aborde également les problèmes de préservation de la nature, ainsi que certaines des propriétés de l'eau et des milieux aqueux.

P demande à ses élèves d'apporter chacun une fleur d'arbre fruitier, un fruit à pépins (poire, pomme), un fruit à noyau (pêche, abricot), du jus de citron, de pomme, de tomate, du coca cola, un petit flacon avec couvercle.

P : commençons par observer la fleur et repérer ses différents organes. Regroupez-vous par type de fleur apportée : pommier, poirier, pêcher, cerisier, Décrivez exactement ce que vous voyez, c'est-à-dire les organes mâle et femelle de la fleur.

E (groupe pommier) : différentes réponses.

E (groupe poirier) : différentes réponses.

E (groupe pêcher) : différentes réponses.

E (groupe cerisier) : différentes réponses.

P projette la Figure 1 représentant la fleur de pommier.

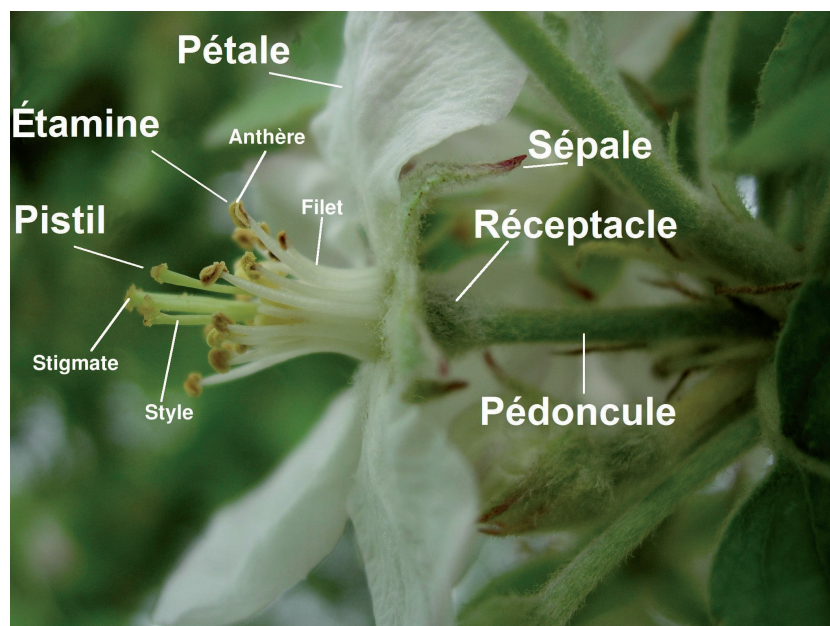


Fig. 1 - Fleur de pommier

D'après Asaphon (Wikipédia)

Licence Creative Commons

Ainsi, on s'aperçoit que le mode de reproduction d'un être végétal, le fruit, est tout à fait comparable à celui d'un être animal comme l'humain. L'organe femelle, ici le pistil, est fécondé par l'organe mâle, ici l'étamine. Mais

dans le cas du fruit, les ovules se transforment en graines et l'ovaire en fruit.

P : comment se déroule la fécondation dans le cas d'un fruit ?

E : à l'aide des insectes (abeille, guêpe, etc.), des papillons, qui butinent et finissent par déposer les étamines sur le pistil

E : à l'aide du vent qui éparpille les étamines sur le pistil

P : oui. Mais toutes les fleurs ne sont pas de type hermaphrodite (la même entité comporte les deux organes mâle et femelle) comme la fleur du pommier par exemple. Dans certaines espèces, les fleurs mâles et les fleurs femelles sont séparées, mais présentes sur le même arbre. Pour d'autres, les arbres sont, ou bien de type mâle, ou bien de type femelle. D'où l'importance extrêmement grande de l'action des insectes qui eux seuls peuvent aider à perpétuer l'espèce. Il faut donc protéger les insectes à tout prix, ne serait-ce qu'aux fins d'alimentation de l'espèce humaine en particulier.

P : examinons maintenant le fruit lui-même. Regroupez-vous par type de fruit : à pépin, à noyau. Décrivez exactement ce que vous observez et nommez les différentes parties.

E (groupe fruit à noyau) : différentes réponses.

E (groupe fruit à pépin) : différentes réponses.

P projette la figure représentant la vue en coupe d'une pêche.

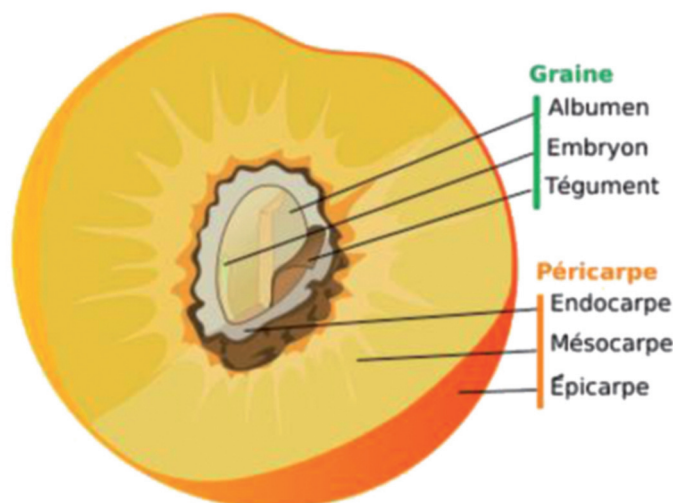


Fig. 2 - Vue en coupe d'un fruit charnu : exemple de la pêche

D'après Wikipédia

Licence Creative Commons

Ainsi, vous avez repéré les deux parties principales d'un fruit : la graine - un noyau ou encore un ou plusieurs pépins - provenant des ovules de la fleur, le fruit (ou la chair) provenant de l'ovaire.

Plus généralement, la chair (ou le fruit) se nomme péricarpe, lui-même constitué de l'endocarpe (enveloppe autour du noyau ou du pépin), du mésocarpe (la chair du fruit) et de l'épicarpe (la peau du fruit).

P : Abordons maintenant les différents composants des fruits. Pour cela, répartissez-vous en quatre groupes. Au groupe 1, je distribue le tableau donnant les compositions des fruits en eau et en sels minéraux, au groupe 2 la composition en pectines, au groupe 3 la composition en vitamine C, au groupe 4 le degré d'acidité des différents jus de fruit.

P : *groupe 1.*

P projette le tableau indiquant les teneurs en eau et sels minéraux dans les fruits. Quel est le plus important constituant des fruits ?

	Eau g/100 g	Magnésium mg/100 g	Phosphore mg/100 g	Potassium mg/100 g	Calcium mg/100 g
Framboise	83	21	29	224	41
Groseille	84	14	30	280	28
Raisin	79	10		250	10
Abricot	86	11	23	300	15
Cerise	83	12	21	250	18
Pêche	86	10	20	230	6
Prune	83	9	18	250	14
Orange	87	12	22	187	43
Banane	75	35	30	380	7
Poire	83	7	9	130	9
Pomme	84	5	10	120	5
Figue	79	21	34	285	45
Fraise	90	13	25	155	30

Fig. 3 - Teneurs en eau et composés minéraux dans les fruits

E (1) : l'eau

P : oui, et quel pourcentage d'eau en moyenne ?

E (1) : de 80 à 90 %

P : oui ; quels sont les autres éléments importants ?

E (1) : le magnésium, le phosphore, le potassium, le calcium.

P : oui ; Tous ces éléments sont indispensables à la nutrition du corps humain. En quel élément les fruits sont-ils particulièrement riches ?

E (1) : le potassium.

P : oui ; quels sont les fruits les plus riches en potassium, en magnésium, en phosphore, en calcium ?

E (1) : réponses des élèves, l'un après l'autre.

P : *groupe 2*. Les fruits contiennent des substances particulières qu'on appelle des pectines. Ce sont des molécules chimiques à longues chaînes (comme des fils) qui composent en partie les parois des cellules végétales.

P projette la figure représentant les chaînes de pectines.

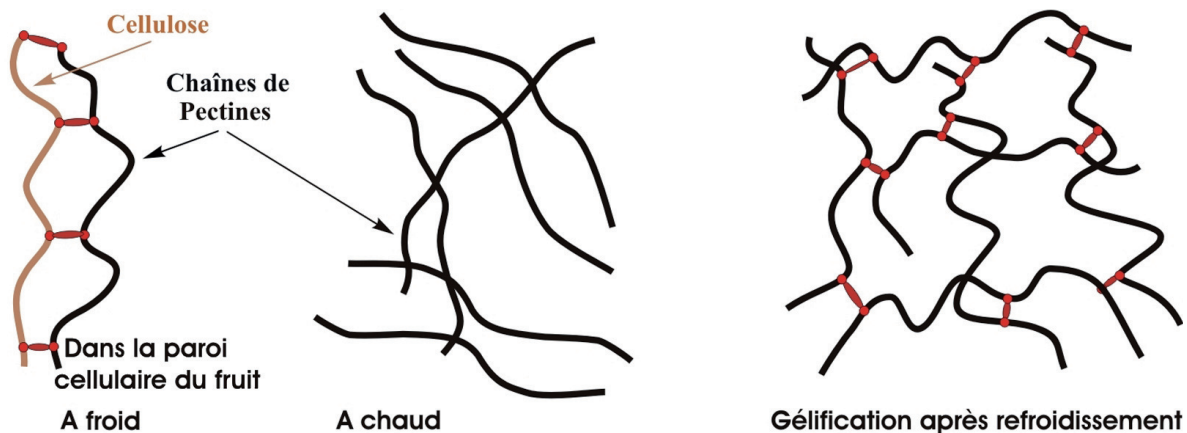


Fig. 4 - La gélification après dissociation à chaud des chaînes de pectines

Plus les fruits comportent de pectines, plus facilement ils pourront être transformés en confitures : les chaînes de pectines, sous l'action de la chaleur, vont se séparer de la cellulose des fruits et finalement s'associer pour former comme une espèce de filet de pêche à 3 dimensions.

P projette le tableau indiquant la teneur des fruits en pectines.

	Pectines, en % de fruit frais	
Pomme	0,5 - 1,6	Teneurs supérieures à 1,5 % Fruits très riches en pectines
Pelure de citron	2,5 - 4,0	
Pelure d'orange	3,5 - 5,5	
Abricot	1,0	Teneurs voisines de 1 % Fruits riches en pectines
Prune	0,9	
Goyave	0,8 - 1,0	
Poire	0,5	Teneurs comprises entre 0,5 et 1 % Fruits moyennement riches en pectines
Mûre	0,7	
Fraise	0,6 - 0,7	
Cerise	0,3	Teneurs inférieures à 0,5 % Fruits pauvres en pectines
Pêche	0,1 - 0,5	
Mangue	0,25 - 0,45	
Tomate	0,2 - 0,6	
Cassis	0,1	

Fig. 5 - Teneur des fruits en pectines

Quels sont les fruits les plus riches en pectines ?

E (2) : la pomme, la pelure d'orange et de citron.

P : oui. Quel le fruit le plus pauvre en pectines ?

E (2) : le cassis.

P : oui, quels sont donc les fruits avec lesquels on pourra faire le plus facilement de la confiture ?

E (2) : pomme, citron, orange, abricot.

P : groupe 3.

P projette le tableau indiquant la teneur des fruits en vitamine C. On sait que la vitamine C est une molécule chimique indispensable à la santé de l'homme. Certains fruits en contiennent beaucoup, d'autres moins. Quels sont les fruits qui en contiennent le plus ?

Cassis	Citron	Fraise	Orange	Pêche	Poire	Pomme	Prune	Cerise	Raisin	Papaye	Goyave
100 à 400	40 à 70	40 à 90	20 à 90	6 à 60	8 à 22	5 à 60	1 à 18	0,8 à 3,2	3	100 à 500	100 à 500

Fig. 6 - Teneur des fruits en vitamine C

E (3) : papaye, goyave, cassis.

P : oui. Quels sont les fruits qui en contiennent le moins ?

E (3) : cerise, raisin.

P : oui.

P : groupe 4. Les jus de fruits ont une saveur plus ou moins piquante. Ceci est dû à leur caractère acide. Rappelons que nous nous trouvons dans un milieu *aqueux*, c'est-à-dire que l'eau est le principal constituant des fruits.

P : *quels sont les constituants de l'eau ?*

E (tous) : *l'hydrogène H et l'oxygène O.*

P : *oui. Et en quelles proportions ?*

E (tous) : *deux atomes d'hydrogène H pour un atome d'oxygène O.*

P : *quelle est donc la formule chimique de l'eau ?*

E (tous) : H_2O .

P : *oui. Quand elle est pure, l'eau est un milieu électriquement neutre. Elle peut cependant contenir des espèces basiques, comme l'eau de lessive par exemple, ou des espèces acides, comme le jus de citron par exemple. L'eau potable du robinet est en général assez proche de la neutralité. On peut avoir une idée de la basicité ou de l'acidité du milieu en trempant dans la solution un papier spécial, dit papier pH, qui prend diverses couleurs selon l'acidité ou la basicité du milieu. Ainsi, la couleur du papier nous renseigne sur l'acidité du milieu.*

P : *autre version plus élaborée :*

Oui. Quand elle est pure, l'eau est légèrement dissociée en des espèces chargées qu'on appelle des ions : des ions positifs H^+ comportant une charge positive, des ions négatifs OH^- comportant une charge négative. Dans l'eau pure, il y a autant d'ions positifs H^+ que d'ions négatifs OH^- : on dit que l'eau est électriquement neutre. S'il y a plus d'ions positifs H^+ que d'ions négatifs OH^- , on dit que le milieu est acide. Inversement, s'il y a plus d'ions négatifs OH^- que d'ions positifs H^+ , on dit que le milieu est basique. L'eau potable du robinet est en général assez proche de la neutralité. On peut avoir une idée de la quantité d'ions H^+ et OH^- en trempant dans la solution un papier spécial, dit papier pH. Si le milieu est neutre, le pH est égal à 7. Si le milieu est acide, le pH est inférieur à 7. Si le milieu est basique, le pH est supérieur à 7. Le papier pH prend diverses couleurs selon l'acidité ou la basicité du milieu. Ainsi, la couleur du papier nous renseigne sur l'acidité du milieu.

On va mesurer le pH du jus de citron, celui du jus de tomate et celui du jus de pomme.

E (tous) : effectuent les mesures de pH.

P : *Quels sont vos résultats ?*

E (tous) : le jus de citron (pH entre 2 et 3), le jus de pomme (pH entre 3 et 4), le jus de tomate (pH de l'ordre de 4)

P : *oui. Vérifions à l'aide du tableau indiquant l'acidité de différents jus de fruits que vous ne vous êtes pas trompés.*

E (4) : *situent les 3 jus dans le tableau et constatent que les mesures sont en accord.*

Citron	Myrtille	Groseille	Pomme	Raisin	Pêche	Abricot	Poire précoce	Orange douce	Cerise	Fraise	Tomate	Poire mûre
2,4	2,95	3,0	3,3	3,45	3,7	3,55	3,65	3,7	3,7	4,15	4,2	4,7

Fig. 7 - Acidité (pH) de différents jus de fruits

E (tous) : examen des résultats et commentaires.

P : *en conclusion, les fruits ont des acidités différentes. Vous saviez tous que le jus de citron est bien plus piquant que le jus de tomate ! Aujourd'hui, vous en avez la preuve par une mesure directe.*

P : *mesurons maintenant le pH de l'eau du robinet, du Coca cola, du vinaigre, de la solution de lessive.*

E (tous) : *font les mesures de pH et classent les différentes solutions aqueuses en fonction de leur pH.*

P : *examen des résultats et commentaires.*

II - COMMENT FAIRE DE LA BONNE CONFITURE SANS UTILISER DE BASSINES EN CUIVRE

On illustre la manière d'éliminer les sels de cuivre pour faire de bonnes confitures, tout en conservant des propriétés analogues.

A l'aide de la figure ci-dessous, P explique le phénomène de « prise » de la confiture et fait un retour sur l'explication donnée en page 14.

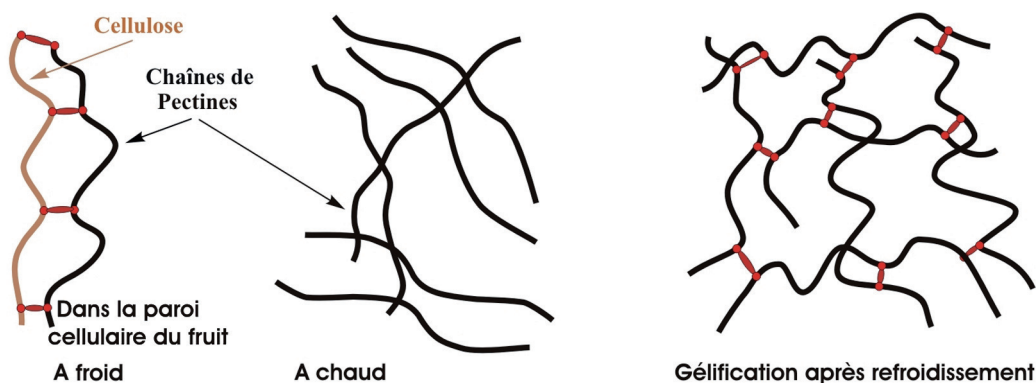


Fig. 8 - La gélification après dissociation à chaud des chaînes de pectines

Il y a formation d'un réseau tridimensionnel de chaînes de pectines qui est favorisé par l'ajout de sucre, par l'acidité des fruits, et par la présence de composés du cuivre qui proviennent de l'attaque du cuivre de la bassine par le milieu acide des fruits.

P : commençons par le rôle des composés de cuivre. Ils sont assez toxiques, et même si on n'en trouve pas beaucoup dans la confiture faite dans une casserole de cuivre, il n'est pas conseillé de fabriquer sa confiture dans de telles bassines...

P : en effet, nous allons montrer que le cuivre est attaqué par un milieu acide. Comme cette expérience ne peut pas être réalisée directement par vous, je vais la faire moi-même.

P prend une solution d'acide nitrique dilué, la chauffe à l'aide du four micro-ondes, puis trempe le fil de cuivre dans la solution.

P fait observer à ses élèves que les alentours du fil de cuivre deviennent bleuâtres.

P : conclusion ?

E (tous) : le cuivre a été attaqué par le milieu acide.

P : oui. La couleur bleuâtre indique que l'attaque du fil par l'acide a produit des composés de cuivre qui sont passés dans la solution. Il peut donc être dangereux de les consommer.

P : par quoi remplacer le cuivre de la casserole ?

E (tous) : réponses diverses.

P : ceux qui ont répondu acier inox ont raison. En effet, le fer ne convient pas parce qu'il rouille. En revanche, l'acier inoxydable n'est pas attaqué par un milieu acide. Vérifions-le.

P fait la même expérience qu'avec le fil de cuivre mais avec le fil en acier inox. Les élèves peuvent constater que le fil en inox n'est pas attaqué par l'acide.

P : on peut donc prendre une casserole en inox plutôt qu'une en cuivre. Mais comment remplacer l'action bénéfique des composés de cuivre sur la prise de la confiture ?

P projette alors la figure ci-dessous en disant que les composés de calcium peuvent jouer le même rôle que ceux du cuivre. On peut donc remplacer le cuivre par du calcium. Et de plus, ces ions ne sont pas dangereux pour la santé, bien au contraire. Qui peut me dire à quoi sert le calcium pour l'organisme ?

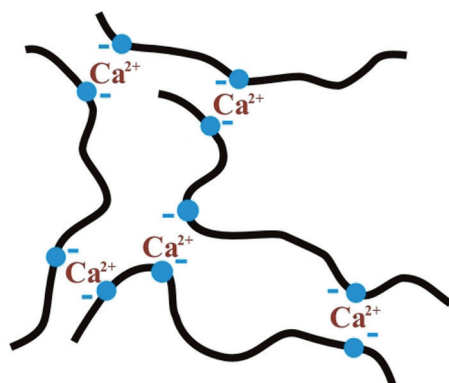


Fig. 9 - Ajout de calcium et refroidissement

E (tous) : on a besoin de calcium pour le développement des os du squelette.

P : oui. Donc, on va remplacer les composés de cuivre par des composés de calcium dans le mélange fruits + sucre + eau, et on obtiendra le même résultat qu'avec le cuivre : une confiture qui prend bien.

P : examinons maintenant le rôle du milieu acide. Sur la figure, on voit que ce milieu contenant du jus de citron par exemple aide aussi à la prise de la confiture : les liaisons entre les chaînes de pectines sont plus nombreuses. Il est donc conseillé d'en ajouter au mélange (fruits + sucre + eau), surtout si le fruit n'est pas assez acide.

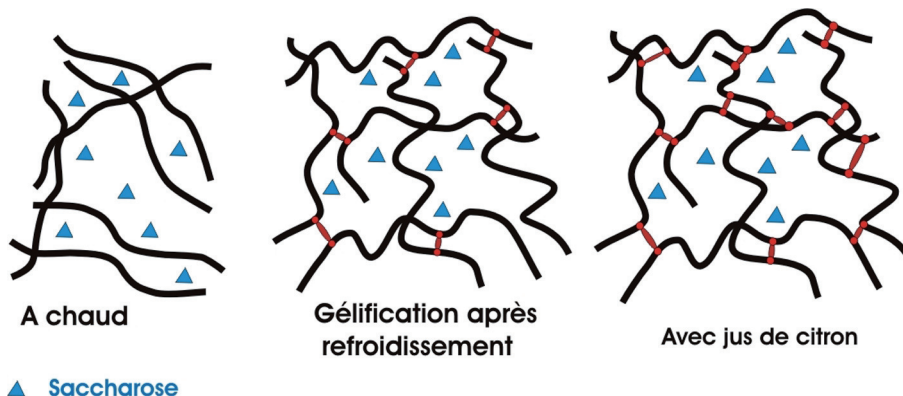


Fig. 10 - Rôle du milieu acide

En résumé, comment faire pour réussir la confiture ?

Utiliser une casserole en inox. Ajouter au mélange (fruits + sucre + eau) du jus de citron et des composés contenant du calcium.

Vous allez vous-même montrer que l'on peut ajouter ces deux éléments d'un seul coup en attaquant une coquille d'œuf (qui est en particulier constituée de carbonate de calcium) par un milieu acide comme le jus de citron (ou le vinaigre).

Chacun des groupes E1, E2, E3 et E4 dispose d'un mortier et d'un pilon. Ils écrasent soigneusement la coquille d'œuf mélangée avec un peu d'eau. Ils versent la solution dans un bécher et ajoutent une cuillerée de vinaigre. Ils font chauffer le mélange et observent un dégagement gazeux.

P explique que se dégage du gaz carbonique (ou dioxyde de carbone) CO_2 provenant de l'attaque du carbonate de calcium par l'acide contenu dans le vinaigre. La solution est chargée en calcium lorsque l'effervescence s'arrête. Après séchage, on obtient une poudre blanche que se partagent les élèves. Il suffira d'en ajouter une pincée directement au mélange (fruits + sucre + eau) pour faire prendre la confiture.