

Comment évaluer la maturité d'une pomme avec des outils de chimie ?

par Jonathan PIARD, Gwenaëlle MAZEAS et Franck MAISONNEUVE

Département de Chimie
ENS Cachan - 94235 Cachan Cedex
jonathan.piard@ens-cachan.fr
gwenaëlle.mazeas@ens-cachan.fr
franck.maisonneuve@ens-cachan.fr

DANS CET ARTICLE, il est montré que la maturation des pommes peut être évaluée au moyen de techniques de chimie expérimentale relativement aisées à mettre en œuvre. Le matériel nécessaire se trouve en effet présent dans la plupart des lycées et les notions abordées sont présentes au programme de première et terminale S. Après une brève introduction sur les pommes, le processus de maturation des fruits est évalué par plusieurs critères : degré Brix, pourcentage sucres/acidité et contenu en amidon. L'évaluation de chacun de ces critères entraîne l'utilisation de diverses techniques très utilisées en chimie.

1. INTRODUCTION

1.1. Composition d'une pomme

Le mot pomme, issu du gallo-roman POMA et du latin *pomum* qui signifie « fruit d'un arbre, fruit à pépins ou à noyau ». La pomme est le fruit⁽¹⁾ du pommier, charnu, de forme plus ou moins arrondie, de couleur verte, jaune ou rouge selon la variété, que l'on consomme frais, en compote, en beignets et dont on fait le cidre ou des jus [1]. Une pomme est constituée (cf. figure 1, page ci-après) de haut en bas :

- d'un pédoncule (ou queue) qui est la partie rattachée à la tige ;
- de l'endocarpe (ou cœur) qui est la partie centrale contenant les pépins ;
- de l'épicarpe (ou peau) qui est le tissu végétal recouvrant le fruit ;
- des graines (ou pépins) qui sont la partie du fruit servant à la reproduction ;
- du mésocarpe (ou pulpe) qui est la partie de la pomme située entre la peau et le cœur ;

(1) En réalité, il s'agit d'un faux-fruit car il est le résultat de la transformation des induvies (organes qui se développent après la fécondation et recouvrent le fruit) d'une inflorescence (disposition des fleurs sur la tige) suite à la fécondation. Le fruit vrai est quant à lui issu du seul pistil de la fleur. La poire ou la fraise sont d'autres exemples de faux-fruit.

- de l'étamine qui est l'organe mâle de la fleur du pommier qui reste après la pomme ;
- et du calice qui est situé au plus bas du fruit.

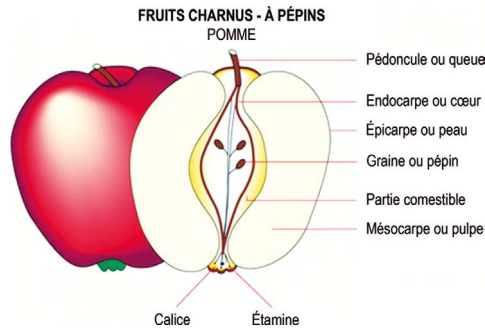


Figure 1 - Description d'une pomme [2].

La pomme est le troisième fruit le plus consommé dans le monde après les agrumes et la banane avec soixante-neuf millions de tonnes récoltées chaque année (FAO 2008). On compte près de vingt mille variétés de pommes à travers le monde qui se caractérise chacune par des couleurs, une taille et un goût sucré et acidulé propre. Le goût et les périodes de récolte et de consommation de certaines variétés de pommes cultivées en France sont donnés dans le tableau 1.

Variété	Goût	Période de	
		récolte	consommation
Elstar	Acide et sucrée	Mi-fin août	Septembre - mars
Reine des reinettes	Acide et sucrée	Début septembre	Septembre - octobre
Golden	Peu acide et sucrée	Septembre	Octobre - mai
Gala	Peu acide et sucrée	Fin septembre - mi-octobre	Octobre - février
Belle de Bookshop	Acide et peu sucrée	Mi-fin octobre	Décembre - février
Breaburn	Acide et sucrée	Octobre	Novembre - avril
Fuji	Peu acide et sucrée	Fin octobre	Octobre - mai
Granny Smith	Très acide et peu sucrée	Novembre	Décembre - mars

Tableau 1 - Goût, période de récolte et de consommation de certaines variétés de pommes cultivées en France.

1.2. Processus de mûrissement

Les pommes sont des fruits qualifiés de climactérique, car la maturation dépend d'une hormone végétale : l'éthène (autrefois appelé éthylène). Ces fruits ont de plus la capacité de poursuivre leur maturation après récolte.

La maturation des fruits correspond à un ensemble de changements biochimiques et physiologiques qui conduisent le fruit à son état de maturité et qui lui confèrent ses caractéristiques organoleptiques : arômes, couleur, jutosité. Dans le cas des pommes, de l'amidon s'accumule lors du développement du fruit puis se dégrade en glucose (sucre) lors de la maturation par une réaction d'hydrolyse.

La progression du processus de maturation entraîne donc une augmentation des niveaux de sucre et une diminution de la quantité d'amidon.

1.3. Choix des pommes

Afin de pouvoir réaliser l'ensemble des expériences décrites dans cet article, il est conseillé d'aller dans un verger afin de cueillir les pommes directement sur l'arbre. Ceci est particulièrement vrai dans le cas de l'évaluation du taux d'amidon (paragraphe 4). Pour les autres analyses, des fruits vendus commercialement peuvent être utilisés.

1.4. Préparation des échantillons

Il est important que l'échantillon de jus utilisé pour effectuer les mesures soit extrait d'une manière uniforme et représentative de l'ensemble des fruits du lot. Dans le cas des pommes, il est préconisé de préparer l'échantillon de la manière suivante [3] :

- pour chaque fruit, couper deux tranches longitudinales (de l'extrémité du pédoncule à l'extrémité du stigmate), la première du côté le plus coloré du fruit et la seconde du côté opposé (cf. figure 2) ;
- effectuer le même découpage pour une dizaine de pommes ;
- placer toutes les tranches dans une centrifugeuse ou les presser à l'aide d'un mortier pour extraire un mélange de jus. Si le résultat du pressage est trop épais, filtrer cette préparation.



Figure 2 - (A) Découpage théorique et (B) et (C) expérimental (B), vue de côté et (C), vue de dessus) des échantillons de pommes [3].

Dans notre cas, nous avons étudié la variété de pomme Elstar. Un lot de dix pommes a permis de récolter environ 25 mL.

2. DÉTERMINATION DE LA MATIÈRE SÈCHE SOLUBLE TOTALE (MSST)

2.1. Définition

La teneur en matière sèche soluble déterminée par réfractométrie est le pourcentage en masse de saccharose d'une solution aqueuse de saccharose présentant, dans des conditions déterminées, le même indice de réfraction que le produit à analyser. La teneur en matière sèche soluble est exprimée en grammes pour 100 g (g/100 g) du produit aussi appelé pourcentage Brix⁽²⁾ (% Brix) ou degré Brix (°B). Le saccharose est un sucre de formule $C_{12}H_{22}O_{11}$ présent dans de nombreux produits naturels, a été choisi comme référence.

L'un des moyens pour déterminer le contenu total en matière sèche soluble (sucres) dans un fruit est l'utilisation d'un réfractomètre.

La mesure se fait par mise au point (cf. figure 3) d'une ligne limite entre zone claire et zone sombre, sur le réticule, dans le champ supérieur de l'oculaire et par lecture sur deux échelles : l'échelle supérieure indique directement l'indice de réfraction en lumière jaune du sodium, elle est graduée de 1,300 à 1,700. Cette mesure ne nous sera pas utile ici. L'échelle inférieure donne le pourcentage en matières sèches de jus sucrés, elle est graduée de 0 à 95 (teneur en sucre d'une solution). C'est cette valeur qui nous intéresse ici et qui correspond au degré (ou pourcentage) Brix.

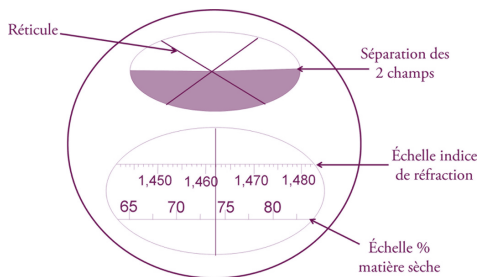


Figure 3 - Champ d'un réfractomètre : ajustement des zones sombres et éclairées au centre du réticule, exemple de lecture de l'indice de réfraction 1,462 et de pourcentage en matière sèche de 74 (degré ou pourcentage Brix).

Cette méthode se trouve être particulièrement adaptée aux fruits mûrs et juteux qui contiennent un taux significatif de sucre. En effet, la présence d'acides aminés, de sels

(2) Cette appellation est un peu abusive dans la mesure où il ne s'agit pas réellement d'un pourcentage car même s'il s'agit d'une valeur sans unité celle-ci n'est pas comprise entre 0 et 1.

d'acides organiques, de sels inorganiques, de matières grasses, de flavonoïdes et d'alcool peuvent perturber la lumière incidente et ainsi fausser la mesure.

La détermination du degré Brix par réfractométrie peut être effectuée sur des d'autres fruits que la pomme (poire, agrumes...). Celle-ci est en particulier très utilisée dans le milieu viticole pour évaluer la teneur en saccharose dans le raisin. Elle est aussi mise en œuvre dans le milieu industriel sur les confitures, les confiseries ou encore des jus de fruits ou d'autres boissons agroalimentaires (vin, soda...).

À titre indicatif, des degrés Brix sont donnés ci-dessous [4] :

- de 0 à 20 brix : jus de fruits non concentrés, vin, sirops légers, betteraves rouges ;
- de 20 à 55 brix : sauces ;
- de 55 à 90 brix : sirops denses, coulis, pulpes concentrées en sucre, jus de fruits concentrés.

Dans le cas des jus de fruits commerciaux, le degré Brix caractérise la teneur en sucres (fructose, glucose, saccharose). La valeur obtenue peut alors être comparée à celle présente sur la bouteille⁽³⁾. Cette analyse est effectuée au sous-paragraphe 2.3.3.

Les valeurs de degré Brix se situent pour la plupart des variétés entre 11 et 16 lorsque le fruit est à bonne maturité pour la dégustation. Le degré Brix minimal est de 10,5 pour les fruits de petite taille. Si le degré est inférieur à 11, le fruit n'est généralement pas mûr pour la consommation [5].

2.2. Produits et matériel

2.2.1. Produits

Eau distillée ♦ Pommes ♦ Jus de pomme ♦ Saccharose ♦ Fructose ♦ Glucose.

2.2.2. Matériel

Réfractomètre d'Abbe ♦ Fioles jaugées de 100 mL ♦ Béchers de 200 mL ♦ Balance de précision.

2.3. Application [3]

2.3.1. Étalonnage du réfractomètre

Pour étalonner le réfractomètre ou vérifier son échelle en pourcentage en sucre, préparer une ou plusieurs solutions aqueuses de pourcentage en masse différent en sac-

(3) La teneur en sucre ne doit pas être confondue avec la teneur en glucides pour laquelle d'autres sucres (amidon, cellulose...) sont également pris en compte mais non détectable par réfractométrie.

charose. Dans cette étude, l'étalonnage a été effectué sur cinq solutions de 0, 3, 6, 10 et 15 % en masse). Par exemple, pour une solution à 5 %, placer 0,5 g de saccharose dans un bécher de 200 mL et compléter avec de l'eau distillée jusqu'à obtenir une masse de 10 g. Placer alors cette solution dans le réfractomètre et vérifier que l'on retrouve la valeur du pourcentage en masse. Si cela n'est pas le cas, il faut alors procéder à un ré-étalonnage de l'appareil. Répéter cette analyse pour des solutions aqueuses en fructose et glucose.

2.3.2. Détermination du pourcentage Brix d'un jus issu d'un lot de pommes

Déposer plusieurs gouttes de jus de pomme issues de la préparation décrite dans le sous-paragraphe 1.3. sur la surface du prisme. Le liquide déposé sur le plateau du prisme doit être exempt de bulles ou de particules flottantes de pulpe ou d'autres matières. Lire le résultat donné par le réfractomètre. Celui-ci correspond donc au pourcentage Brix du lot de pommes analysées. Dans notre cas, pour la variété de pomme Elstar achetée au mois de septembre, un pourcentage Brix de 12,5 a été obtenu. Cette valeur montre que le fruit a atteint une bonne maturité pour la consommation.

2.3.3. Détermination du pourcentage Brix d'un jus de pomme commercial

Déposer plusieurs gouttes d'un jus de pomme (concentrée ou non) sur la surface du prisme. Lire le résultat donné par le réfractomètre. Par ailleurs, mesurer la masse m de 100 mL de jus placé une fiole jaugée de 100 mL à l'aide d'une balance de précision. La masse m' de sucres contenue dans 100 mL de jus est donc égale à :

$$m_{\text{sucres}} \text{ dans 100 mL} = m' = \% \text{ Brix} \times \frac{m}{100}$$

Les résultats obtenus sur deux jus de pommes du commerce sont donnés dans le tableau 2.

Jus de pomme	ρ	% Brix	m_{sucres} dans 100 mL (mesurée)	m_{sucres} dans 100 mL (théorique)
100 % naturel	1,0436	11,0	11,5	11,5
À base de concentré	1,0430	10,8	11,3	11,0

Tableau 2 - Tableau récapitulatif de résultats obtenus pour deux jus de pomme commerciaux.

Les valeurs obtenues par réfractométrie sont donc en accord avec les données mentionnées sur l'étiquette.

3. DÉTERMINATION DE L'ACIDITÉ ET DU RAPPORT SUCRES/ACIDITÉ

3.1. Définition

Le rapport sucres/acidité constitue un indicateur de la maturité commerciale et

de la maturité de consommation. En effet :

- au début du processus de maturation, le rapport sucres/acidité est faible, car le contenu en sucres est alors bas et celui en acides élevé ; le fruit est aigre ;
- durant le processus de maturation, les acides sont dégradés (cf. sous-paragraphe 1.2.), le contenu en sucres augmente et le rapport sucres/acidité augmente ; le fruit acquiert son goût ;
- les fruits trop mûrs ont des niveaux d'acides très bas ce qui explique alors un manque de saveur caractéristique ; le rapport sucres/acidité est élevé.

Deux méthodes sont envisageables afin de déterminer le pourcentage d'acidité des fruits :

- ◆ la méthode colorimétrique en utilisant un indicateur coloré : la phénolphthaléine (cf. sous-paragraphe 3.2.1.).
- ◆ la méthode pH-métrique, qui est utilisée pour les jus très colorés (cf. sous-paragraphe 3.2.2.).

Le volume équivalent obtenu à l'issue du titrage de 10 mL de jus par de la soude à $0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ permet de déterminer le pourcentage d'acide (respectivement gramme/L d'acide⁽⁴⁾) grâce aux relations suivantes :

$$\text{Pourcentage d'acide} = \frac{C \times K}{10 (\text{mL jus})} \quad \text{ou} \quad \text{g/L acide} = \frac{C \times K \times 100 \times 10}{10 (\text{mL jus})}$$

Avec C la concentration et K une constante sans unité qui dépend du fruit analysé et permet de tenir compte de l'influence des acides minoritaires sur l'acide dosé majoritairement. En effet, certains fruits contiennent plusieurs acides différents, il faut donc appliquer à chaque calcul le coefficient multiplicateur approprié. Dans le cas des pommes, l'acide majoritaire est l'acide malique, mais d'autres types d'acide perturbent un peu le dosage. Par conséquent, on applique un coefficient $K = 0,0067$. Dans le cas de l'acide malique, par exemple, 1 mL de NaOH à $0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ équivaut à 0,0067 g d'acide malique (cf. figure 4, page ci-après).

Le rapport sucres/acidité est alors calculé en utilisant les équations suivantes :

$$\text{Rapport sucres/acidité} = \frac{\text{Pourcentage } ^\circ\text{Brix}}{\text{Pourcentage d'acide}} = \frac{\text{Pourcentage } ^\circ\text{Brix} \times 10}{\text{g/L acide}}$$

Remarque : La détermination du titre ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) ou la concentration d'acide par une méthode classique est possible, mais donnerait des résultats impossibles à comparer avec les valeurs communément admises (notamment par l'OCDE⁽⁵⁾). La constante K permet

(4) Là encore, il s'agit d'une dénomination abusive. En réalité, il s'agit d'un taux d'acidité donc d'un nombre de grammes d'acide par litre exprimée en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$.

(5) Organisation de coopération et développement économique.

en effet de tenir compte de la présence de plusieurs acides dans le milieu ce qui est difficile par un titrage classique.

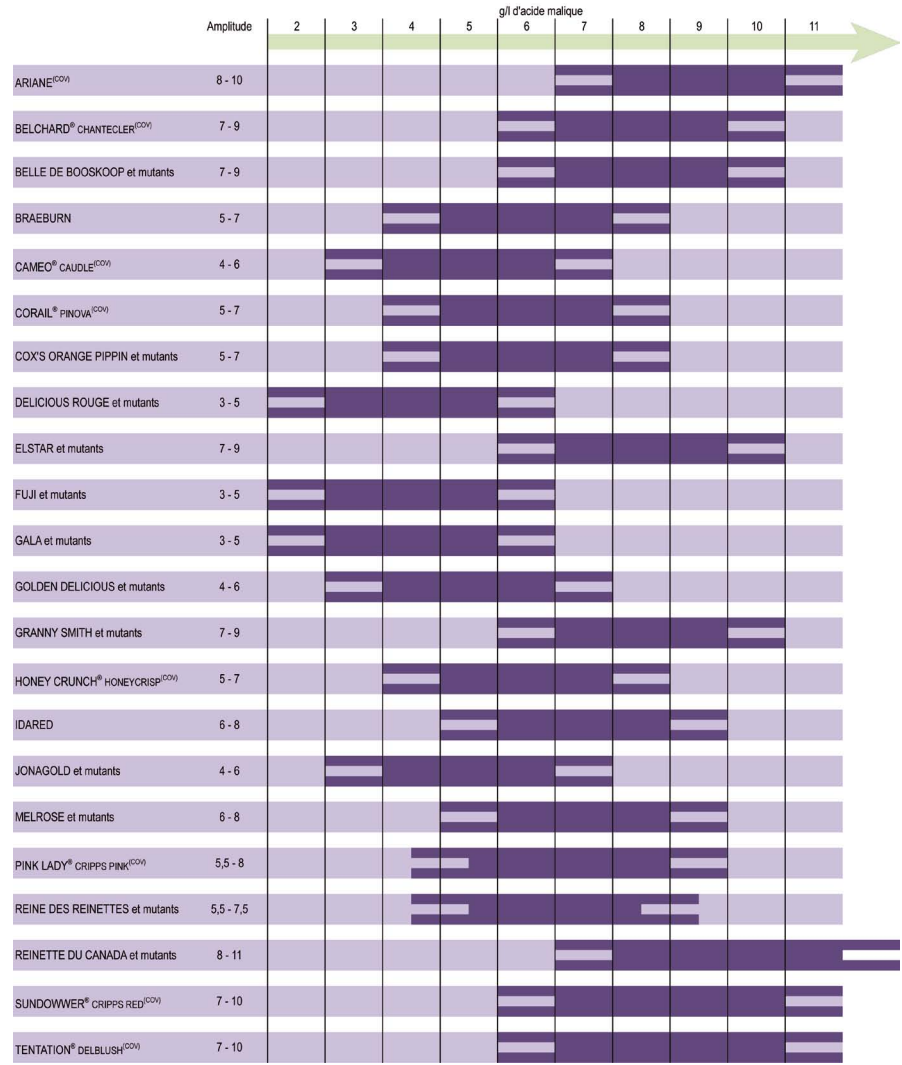


Figure 4 - Plage d'acidité malique moyenne relevée à la récolte pour plusieurs variétés de pommes [6].

3.1.1. Produits

Eau distillée ♦ Pommes ♦ Soude à 0,1 mol · L⁻¹ ♦ Phénolphthaléine.

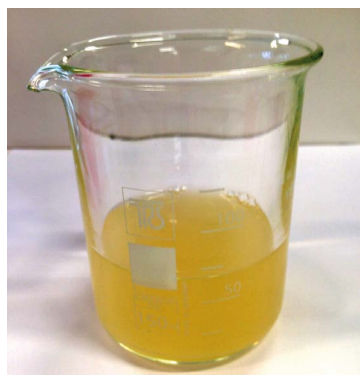
3.1.2. Matériel

Burette de 25 mL ou 50 mL ♦ Une pipette jaugée de 10 mL ♦ Éprouvette graduée de 100 mL ♦ Bécher de 250 mL ♦ Matériel de filtration.

3.2. Mode opératoire

3.2.1. Titrage colorimétrique

Prélever 10 mL de jus issu de la préparation décrite dans le sous-paragraphe 1.3. et les placer dans un bécher de 250 mL muni d'un barreau aimanté. Ajouter 50 mL d'eau distillée à l'aide d'une éprouvette graduée et trois gouttes de phénolphthaléine au jus. Effectuer alors le titrage de cette solution par de la soude à $0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Le point de fin de titrage⁽⁶⁾ est déterminé par le passage de la solution de la couleur incolore au rose – violet. La couleur de l'indicateur doit rester stable (pendant trente secondes) et être rose clair lorsqu'on la regarde sur un fond blanc. Cette teinte peut toutefois varier en fonction du type et la couleur du jus analysé. On détermine ainsi le volume équivalent que l'on notera V_{eq} .



Avant titrage



À la fin du titrage

Figure 5 - Évolution de la couleur de la solution de jus de pommes lors du titrage par de la soude (NaOH) à $0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ avec la phénolphthaléine comme indicateur coloré.

- (6) Les notions de fin de réaction et d'équivalence sont souvent confondues et très différentes. L'équivalence est une notion théorique (ex : volume de réactif titrant V_{eq} dans les dosages volumétriques à verser pour compenser le nombre de moles de la solution à titrer). La fin de réaction est d'origine expérimentale, proche de l'équivalence, où l'expérimentateur considère que la réaction est terminée (changement de couleur d'un indicateur coloré, saut de pH...).

3.2.2. Titrage pH-métrique

On peut également déterminer le point équivalent par pH-métrie⁽⁷⁾. Effectuer le titrage par de la soude à $0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Le point de fin de titrage est atteint pour pH 8,1. En cas de dépassement de ce dernier chiffre, le test n'est pas acceptable et doit être recommencé.

3.3. Résultats

Les titrages colorimétrique et pH-métrique ont été réalisés simultanément. La courbe de titrage pH-métrique (pH en fonction du volume de soude versée V_B) est donnée en figure 6 sur laquelle la zone de virage de la phénolphthaléine est mentionnée.

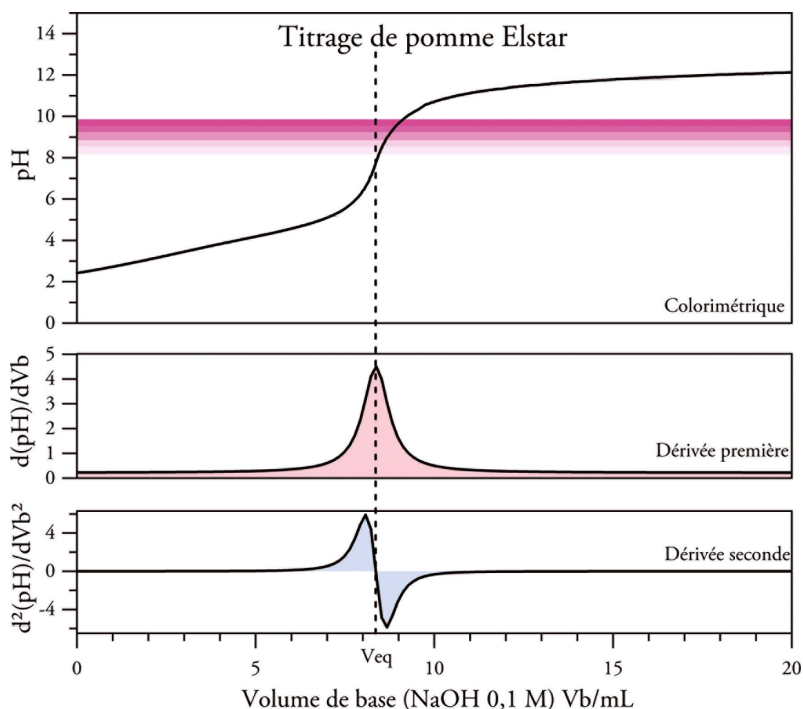


Figure 6 - En haut : courbe pH-métrique du titrage du jus de pommes par la soude (NaOH) à $0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Au milieu : tracé de la dérivée première de la courbe pH-métrique. En bas : tracé de la dérivée seconde de la courbe pH-métrique.

La valeur expérimentale du point de fin de titrage est alors déterminée d'une part en

(7) Le suivi pH-métrique peut également aussi être conduit en même temps que le titrage colorimétrique.

utilisant la méthode des tangentes et d'autre part en traçant les dérivées première et seconde pour lesquels celui-ci correspond respectivement au maximum et au point d'intersection avec l'axe des abscisses. Le tracé des dérivées première et seconde est donné en figure 6 (cf. page ci-contre).

Dans le cas du jus de pommes analysé, le volume équivalent est estimé à 8,3 mL par pH-métrie et 8,7 mL par colorimétrie. Il est à noter par ailleurs que le pH à l'équivalence est de 7,9 ce qui est donc bien en dessous de 8,1. Les valeurs obtenues par pH-métrie et colorimétrie diffèrent l'une de l'autre, car l'on s'aperçoit que l'indicateur de fin de réaction choisi ne possède pas le pH à l'équivalence au milieu de sa zone de virage. Un indicateur coloré comme le rouge de crésol (zone de virage entre pH 7,2 et 8,8) semble plus adéquat. Toutefois, la phénolphthaléine se trouve être l'indicateur préconisé par l'OCDE pour plusieurs raisons :

- variation significative de la couleur ;
- validité pour plusieurs types d'espèces même pour celle dont le jus est relativement foncé, car le pouvoir colorant de la forme mauve de la phénolphthaléine est très important ;
- il est largement commercialisé.

On en déduit un pourcentage d'acide de 0,56 % ($5,6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) et un rapport sucre/acidité de $12,5/0,56 = 22,3$. Le taux d'acide est donc relativement faible ce qui signifie que l'échantillon est trop mûr pour la récolte au vu du graphique de la figure 4. En revanche, il s'avère bon pour une consommation immédiate.

4. MESURE DE LA RÉGRESSION DE L'AMIDON

4.1. Définition

Lors du processus de maturation, l'amidon qui se forme lors du développement de la pulpe se transforme en sucres. En effet, les substances de réserve, stockées sous forme d'amidon, s'hydrolysent lentement à l'approche de la maturité pour se transformer en sucres solubles. Ce phénomène est mis en évidence par la réaction d'une solution iodo-iodurée sur des pommes coupées dans le plan équatorial.

Lorsque le diiode entre en contact avec l'amidon, il y a formation d'un complexe I_2 – amidon. L'amidon est un mélange de deux homopolymères, l'amylose (polymère non ramifié de glucose) et l'amylopectine (polymère ramifié d' α -D-glucopyranose). La coloration de l'amidon par le diiode résulte de la fixation des molécules de diiode à l'intérieur des hélices d'amylose à raison d'une molécule pour deux tours d'hélice (cf. figure 7, page ci-après). La couleur particulièrement intense est due à un transfert de charge.

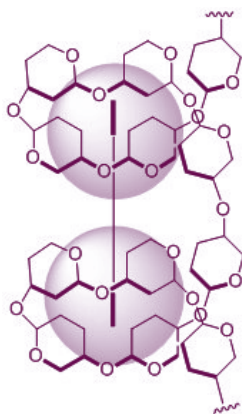


Figure 7 - Formation du complexe I_2 – amidon de couleur bleue.

La transformation de l'amidon en sucres lors de la maturation entraîne donc une diminution de la couleur bleue lors du test. De plus, la maturation part généralement du cœur du fruit pour aller vers l'épiderme. Les zones où l'amidon est encore présent se colorent en bleu foncé tandis que celles où l'amidon a « régressé », c'est-à-dire où il s'est transformé en sucres solubles, restent claires. On qualifie ce test de « test de régression de l'amidon ».

L'adjonction de solution d'iode entraîne alors l'apparition de motifs qui dépendent de la variété de fruits. Généralement, il s'agit d'un anneau blanc central qui s'agrandit vers les bords du fruit (forme radiale, type R). Toutefois, d'autres motifs comme une étoile qui s'agrandit autour du cœur peuvent aussi être observés (forme circulaire, type C). Ces deux types de motifs sont représentés en figure 8 (cf. page ci-contre) et en figure 9 (cf. page ci-après) pour différents stades de maturité des pommes. Pour certaines variétés de pommes, il est difficile de discriminer entre les deux motifs types, on parle alors de motif intermédiaire. Les types de motifs selon les variétés sont les suivants :

- *Circulaire (type C)* : Gala, Red Delicious, Granny Smith, Reine des reinettes ;
- *Radiale (type R)* : Elstar, Golden ;
- *Intermédiaire* : Braeburn, Fuji.

Le bon moment pour commencer la récolte varie selon les variétés et la durée de conservation souhaitée avant commercialisation. De plus, des différences peuvent intervenir selon les régions, les conditions climatiques de l'année. Enfin, le stade choisi peut aussi dépendre du marché visé et est souvent laissé à l'attention du producteur. La figure 10 (cf. page ci-après) donne, pour les grandes variétés et en situation normale, les plages moyennes de régression de l'amidon correspondant à un optimum de récolte

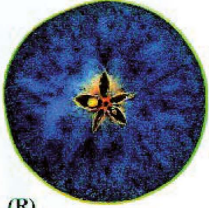
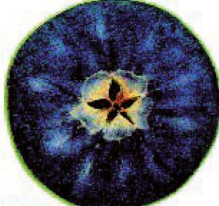
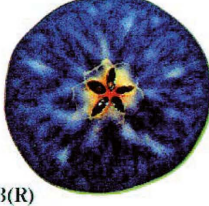
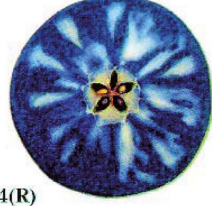
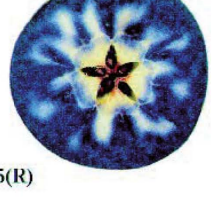
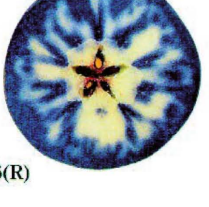
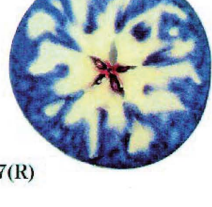
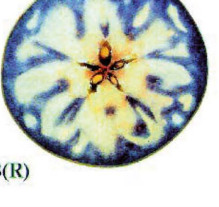
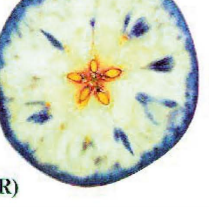
	Tableau d'équivalence amidon/stade de maturité pour les pommes		
Type radial (R)		 1 (R)	
1 (R) Légère altération centrale			
 2(R)	 3(R)	 4(R)	
2(R) – 3(R) – 4(R): Altération radiale croissante			
 5(R)	 6(R)	 7(R)	
5(R) – 6(R) – 7(R): Altération centrale croissante accompagnée de fissures périphériques			
 8(R)	 9(R)	 10(R)	
8(R) – 9(R) -10(R): Altération périphérique croissante			

Figure 8 - Tableau d'équivalence amidon/stade de maturité pour les pommes dans le cas d'un type radial [3].

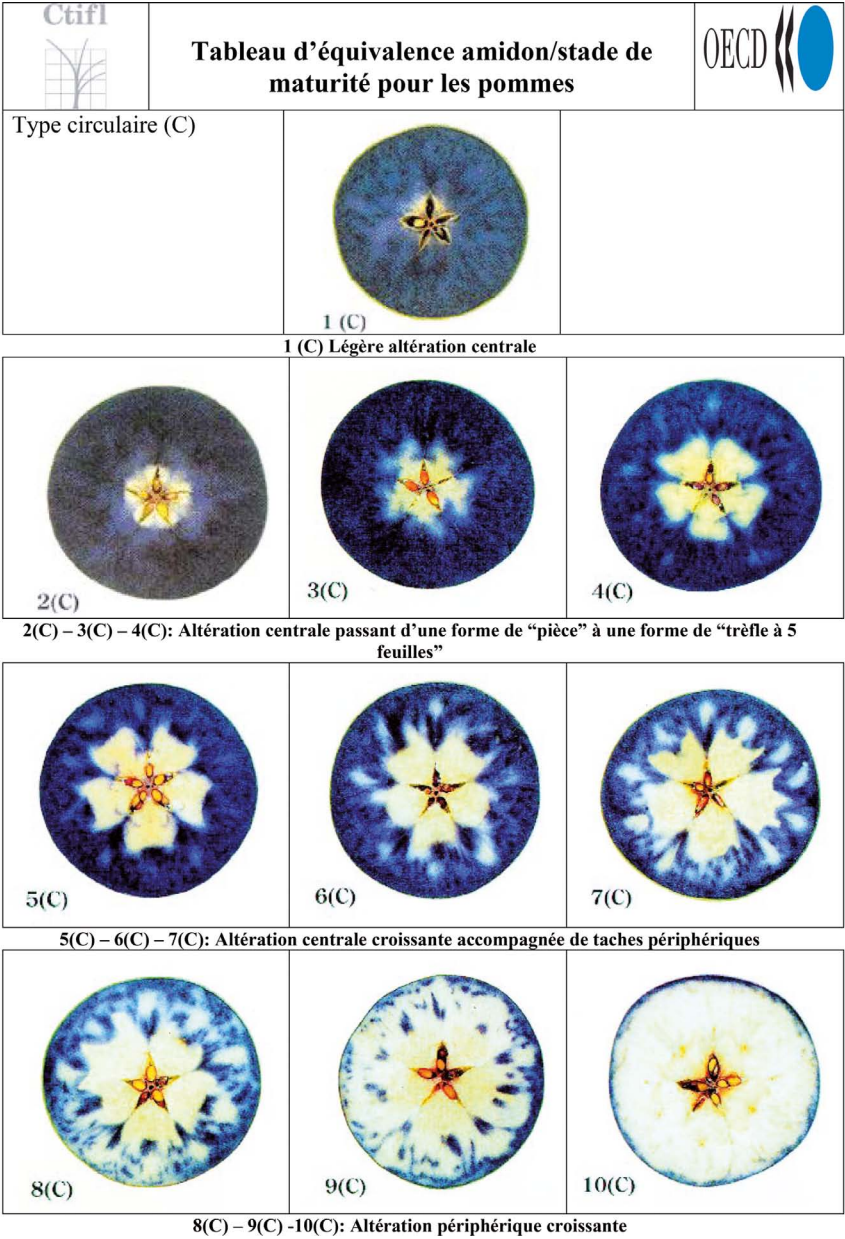


Figure 9 - Tableau d'équivalence amidon/stade de maturité pour les pommes dans le cas d'un type circulaire [3].

pour une conservation longue (8-10 mois) :

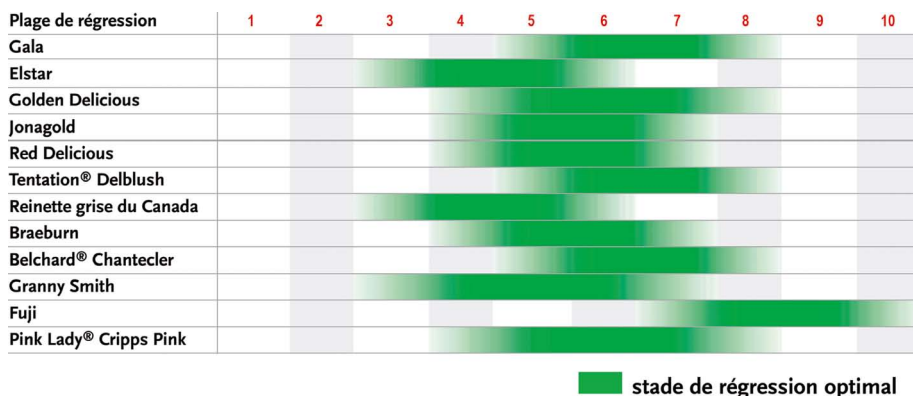


Figure 10 - Plages moyennes de régression de l'amidon correspondant à un optimum de récolte pour plusieurs variétés de pommes et pour une conservation longue (8-10 mois) [7].

Remarque : Ce test est particulièrement adapté pour des fruits tels que les pommes, et dans une moindre mesure les poires. Par ailleurs, ce test n'est valable que pour déterminer la maturité du fruit au moment de la récolte. Pour les fruits commercialisés, le test n'est plus significatif, car la quantité d'amidon contenue dans un fruit – même insuffisamment développé ou vert – peut avoir diminué sans que le processus de maturation ait progressé de manière suffisante.

4.2. Produits et matériel

4.2.1. Produits

Pommes ♦ Iodure de potassium ♦ Eau distillée ♦ Diode solide.

4.2.2. Matériel

Un couteau ♦ Un pulvérisateur ♦ Fiole de 500 mL ♦ Éprouvette graduée de 15 mL ♦ Bécher de 25 mL.

4.3. Détermination de la maturité par une solution d'iode

4.3.1. Préparation de la solution d'iode

Préparer une solution d'iode en plaçant 5 g d'iodure de potassium dans 15 mL d'eau distillée dans un bécher puis ajouter alors 1,5 g d'iode solide. Placer cette solution dans une fiole de 500 mL et compléter jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée.

4.3.2. Détermination de la maturité

Couper le fruit à analyser en deux dans le plan équatorial en utilisant un couteau bien aiguisé. Bien faire attention à ce que les surfaces soient coupées de façon propre, car tout dommage additionnel pourrait provoquer une diffusion supplémentaire de l'amidon provenant des cellules endommagées et donc un résultat imprécis.

Recouvrir alors les deux surfaces avec la solution d'iode de façon homogène grâce à un vaporisateur. Laisser reposer pendant une minute avant d'observer le résultat et le motif pris.

Les motifs observés avec les pommes utilisées (variété Elstar) lors de cette étude sont présentés en figure 11.

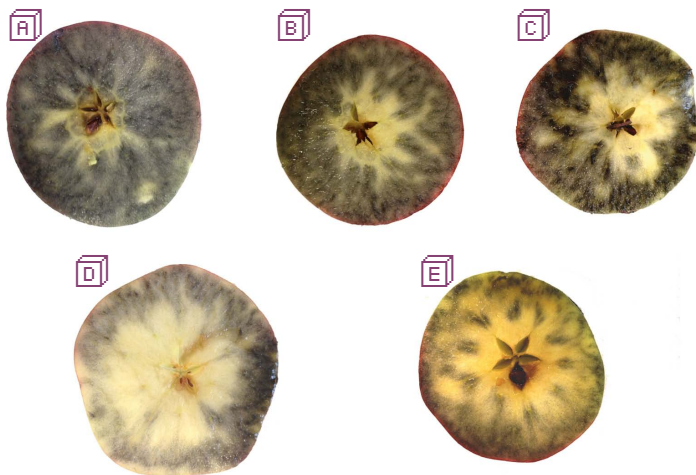


Figure 11 - Exemples de motif observés.

Sachant que la variété Elstar possède des motifs de type R, on en déduit que les motifs correspondent aux stades de maturité suivante : $A = 4(R)$, $B = 5(R)$, $C = 6(R)$, $D = 7(R)$ et $E = 8(R)$. Les fruits récoltés pouvant être directement consommés sont donc les D et E de la figure 11. Ceux récoltés pour une bonne conservation sont les A et B de la figure 11.

5. SUIVI DE LA MATURATION

L'ensemble des techniques précédentes a été mis en œuvre afin de suivre le processus de maturation sur une série de trois pommes de variété Reine des reinettes. La figure 12 (cf. page ci-après) montre la correspondance entre l'évaluation de la maturité de la pomme par la coloration (images 1 à 3) et le test de régression de l'amidon (images

1' à 3'). Pour ce dernier, les motifs sont de type C. Pour ces mêmes trois pommes, le tableau figure 12 représente les résultats issus de la réfractométrie, de la régression de l'amidon ainsi que du dosage pH-métrique permettant de déterminer le taux d'acidité (et le rapport sucres/acidité). Pour réaliser ces expériences, chaque pomme a été placée entière dans une centrifugeuse afin de récupérer un maximum de jus⁽⁸⁾.

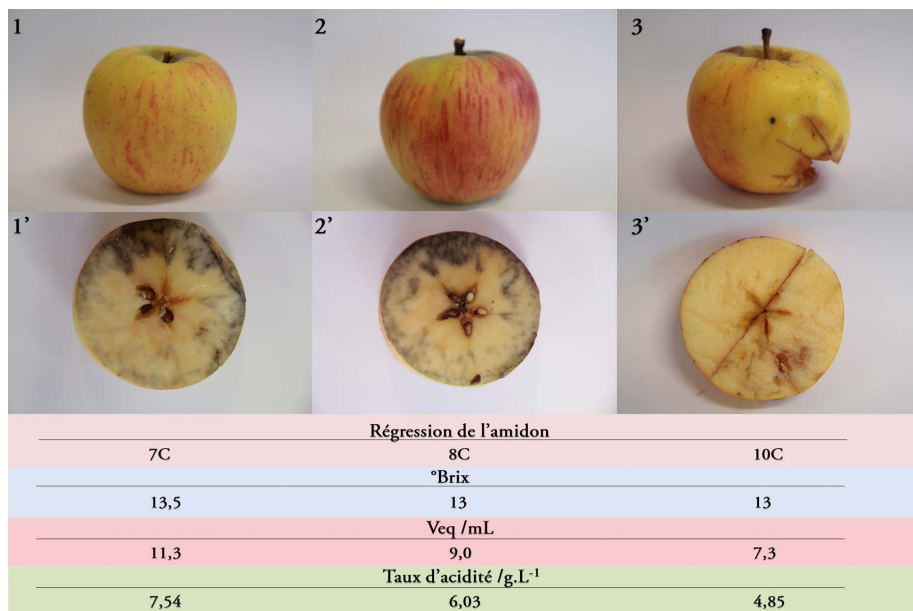


Figure 12 - En haut : images de trois pommes à des stades de maturation différents. (1 à 3) : image de la pomme et évaluation de sa coloration. (1' à 3') Image des motifs issus du test de la régression de l'amidon. En bas : tableau récapitulatif des résultats obtenus par les méthodes de régression de l'amidon, réfractométrie et pH-métrie pour ces trois pommes.

On observe une coloration de la peau qui passe du jaune au jaune avec des rayures rouge (cf. figure 12, images 1 à 3) de la pomme 1 à la 3. Cette variation de couleur s'accompagne au toucher d'une diminution de la fermeté. Ces deux critères semblent donc montrer une maturité croissante des pommes 1 à 3. Afin de confirmer cette affirmation, l'ensemble des techniques précédemment énoncées a été réalisé. Le test au diiode (régression de l'amidon) montre une maturité croissante de la pomme 1 à la pomme 3 (motif 7C à 10C). Ces résultats sont en adéquation avec ceux obtenus

(8) Pour effectuer cette analyse, il aurait été idéal de pouvoir disposer pour chacun des stades de maturité d'un échantillon d'une dizaine de pommes et de ne prélever que les tranches préconisées au sous-paragraphe 1.4. Ceci nécessite d'avoir à disposition une grande quantité de pommes.

par pH-métrie avec une diminution du taux d'acide malique de $7,54 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ pour la pomme 1 à $4,85 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ pour la pomme 3. Le degré Brix est quant à lui pratiquement constant pour ces trois pommes. Tous les résultats sont donc cohérents et l'on peut donc affirmer une maturité croissante de la pomme 1 à la 3. Au vu de la figure 4, les pommes 1 et 2 sont bonnes pour la récolte et la 3 est maintenant trop mûre.

Remarque : Des pommes ayant des stades de maturité très faibles peuvent également être analysées. Toutefois, il s'avère difficile de pouvoir disposer pour une même variété de pommes de stade de maturité très divers à un moment donné de l'année. De plus, les résultats s'avèrent plus fiables lorsque les fruits sont récoltés sur l'arbre ce qui accroît la difficulté puisque les fruits non mûrs tombés de l'arbre depuis longtemps ne peuvent être analysés.

6. NORMES DE COMMERCIALISATION

Pour les pommes qui sont commercialisées notamment dans les grandes chaînes de distribution, celles-ci doivent être soumises à deux normes : l'une sur la qualité et l'autre sur le calibre (diamètre maximal de la section équatoriale ou par le poids). Aucune norme n'est donnée sur le degré Brix, le rapport sucres/acidité ou la régression en amidon. Par ailleurs, aucune norme n'est exigée pour une commercialisation à titre indépendant.

Pour la norme sur la qualité, il existe trois catégories : extra, catégorie I et catégorie II. Les pommes sont classées dans l'une ou l'autre de ces catégories selon certaines caractéristiques de leur pédoncule, leur chair, leur coloration et la présence d'éventuels défauts.

Concernant le calibre, celui-ci est au minimum de 60 mm quand il est déterminé par le diamètre et de 90 g quand il est déterminé par le poids. Les fruits de plus petit calibre peuvent être acceptés si leur valeur Brix est égale ou supérieure à $10,5^\circ$ et si leur calibre n'est pas inférieur à 50 mm ou à 70 g [5].

Pour toutes les catégories : une tolérance de 10 % au total, en nombre ou en poids, de pommes ne répondant pas aux exigences en ce qui concerne le calibrage est autorisée. Cette tolérance ne peut être étendue de façon à comprendre les produits présentant :

- 5 mm de moins que le diamètre minimal ;
- 10 g de moins que le poids minimal.

CONCLUSION

Dans cet article, nous avons donc montré que le degré de maturation d'une pomme peut-être évalué au moyen de techniques simples à mettre en œuvre. En effet,

la matière sèche soluble peut être évaluée par réfractométrie, le rapport sucre/acidité par un titrage colorimétrique ou pH-métrie acido-basique et le contenu en amidon par un test au diiode.

Toutefois, il est à noter que d'autres critères plus difficiles à mettre en œuvre peuvent être utilisés tels que la fermeté (évalué par un pénétromètre), la teneur en jus ou encore la couleur de l'épiderme [3].

REMERCIEMENTS

Nous voudrions remercier Cécile Dumas-Verdes et Rachel Méallet-Renault pour leur aide à la rédaction de cet article. Merci aussi à Hélène Cordier pour avoir pris de son temps pour cueillir quelques pommes de son verger personnel.

BIBLIOGRAPHIE ET NETOGRAPHIE

- [1] <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais>
- [2] http://www.infovisual.info/01/033_fr.html
- [3] <http://www.oecd.org/fr/tad/code/36295388.pdf>
- [4] fr.wikipedia.org
- [5] Norme CEE-ONU FFV-50 concernant la commercialisation et le contrôle de la qualité commerciale des Pommes, 2011.
- [6] Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes (CTIFL), *Pommes-poires : outils pratiques de la récolte au conditionnement*, 2004.
- [7] Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes (CTIFL), *Pommes : code amidon*, 2002.



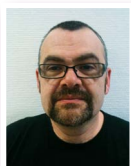
Jonathan PIARD

Professeur agrégé (PrAg)
Département de chimie
École normale supérieure (ENS)
Cachan (Val-de-Marne)



Gwenaelle MAZEAS

Adjointe technique
Département de chimie
École normale supérieure (ENS)
Cachan (Val-de-Marne)



Franck MAISONNEUVE

Adjoint technique
Département de chimie
École normale supérieure (ENS)
Cachan (Val-de-Marne)