

Qualités nutritionnelles des produits végétaux : le cas des fruits et légumes

Marie Josèphe AMIOT¹ - Stéphane GEORGE²

¹Directrice de recherche à l'INRA (département Alimentation Humaine), UMR MOISA, CIRAD, CIHEAM-IAAM, INRA, SUPAGRO, 2 place Pierre Viala - 34060 Montpellier Cedex 1 - France

²Responsable qualité nutritionnelle des produits végétaux, CTCPA, Site Agroparc, 449 Avenue Clément Ader- BP 21203, 84911 Avignon Cedex 9 - France

Contact auteurs : marie-josephe.amiot-carlin@inra.fr

Résumé

Sur la base d'études épidémiologiques, les habitudes alimentaires saines se caractérisent par une forte consommation de produits végétaux, dont une grande variété de fruits et légumes (F&L), de céréales et de légumineuses. Les F&L fournissent des fibres et une grande diversité de micronutriments, vitamines, minéraux et autres composés bioactifs, tels que les composés phénoliques, les composés soufrés et les caroténoïdes, qui contribuent à l'effet protecteur convaincant d'une plus grande consommation de F&L contre les maladies cardiovasculaires, le diabète et certains cancers. Les qualités nutritionnelles des F&L varient considérablement en fonction de la génétique et, dans une moindre mesure, de l'environnement (climat, sol, terroir). Les pratiques culturales, comme la fertilisation et l'irrigation, ont également une incidence sur la teneur en micronutriments. En général, les conditions de stress pendant la croissance et la maturation des F&L augmentent la teneur en micronutriments antioxydants. De nombreuses technologies, comme l'application de températures positives ou négatives, de pressions élevées, le séchage ou la fermentation, sont capables de préserver la qualité nutritionnelle des F&L pendant un stockage à long terme.

Mots-clés

Fruits, légumes, vitamines, phytomicronutriments, polyphénols, glucosinolates, caroténoïdes.

Abstract

Based on epidemiological studies, healthy dietary patterns are characterised by a high consumption of plant-derived products including a large variety of fruit and vegetables F&L, cereals and legumes. F&L provide fibres and a large diversity of micronutrients, vitamins, minerals, and other bioactive compounds, such as phenolic compounds, sulphur compounds and carotenoids, which contribute to the convincing protective effect of F&L consumption against cardiovascular diseases, diabetes and some cancers. The nutritional qualities of F&L vary greatly according genetics, and at a lower extent environment (climate, soil). Cultural practices, fertilisation and irrigation also impact the nutrient content. In general, stress conditions during growth and maturation of

F&L enhance the antioxidant content. Numerous technologies, through applying positive or negative temperatures, high pressures, drying and fermentation, are able to preserve the nutritional quality during long-term.

Keywords

Fruits, vegetables, vitamins, phytomicronutrients, polyphenols, glucosinolates, carotenoids.

Produits végétaux et santé

Selon le rapport de l'ANSES de 2016 portant sur la révision des recommandations du PNNS¹ (ANSES, 2016a) et sur la base d'études de populations (ANSES, 2016b), une plus grande consommation de fruits et légumes diminue, avec un niveau de preuve convaincant, le risque de maladies cardiovasculaires, et avec un niveau de preuve moins fort, le risque de cancer colorectal, de cancer du sein, ainsi que de diabète de type 2 et de prise de poids. Il est toujours préconisé une consommation quotidienne d'au moins 400 g par jour de fruits et légumes, soit au moins cinq portions par jour. Pour les maladies cardiovasculaires, des bénéfices sont observés dès la consommation d'une portion quotidienne. Par ailleurs, la consommation de produits céréaliers complets diminue également le risque de maladies cardiovasculaires, de diabète de type 2, de cancer colorectal avec un niveau de preuve un peu moins fort, mais qui conduit à encourager la consommation de ces produits. Concernant les légumineuses, leur consommation est très faible et les données sur les relations avec la santé sont trop rares pour leur attribuer des effets santé. Les légumineuses ont fait cependant l'objet d'une attention particulière. Compte tenu qu'elles constituent une source intéressante de protéines végétales, les légumineuses ont été sorties de la catégorie des féculents par les experts de l'ANSES ; elles sont maintenant considérées comme une nouvelle catégorie d'aliments afin de les privilégier dans la diversification des sources de protéines et d'augmenter le ratio protéines végétales/protéines animales dans les profils alimentaires.

Une consommation plus élevée de produits végétaux, fruits, légumes, produits céréaliers complets, mais aussi de fruits à coque, de légumineuses et bien sûr, d'huile d'olive, et plus faible de produits animaux caractérisent l'alimentation méditerranéenne. Une meilleure adhésion à ce profil alimentaire est reconnue pour prévenir le risque de maladies cardiovasculaires avec un niveau de preuve convaincant, et est également associée à une diminution du risque de diabète de type 2, de cancer du sein, du cancer colorectal et du déclin cognitif avec un niveau de preuve un peu moins fort (Anses, 2016).

Composition nutritionnelle des fruits et légumes

La description de la qualité nutritionnelle des fruits et légumes a fait l'objet d'un état de l'art dans l'expertise collective de l'Inra publiée en 2007 (Combris *et al.*, 2007). Les F&L ont un apport calorique faible, et participent dans l'équilibre nutritionnel à substituer des produits plus caloriques. Ils sont une excellente source de fibres et de nombreuses vitamines (sauf la B12 qui est exclusivement d'origine animale) et minéraux, tous ces composés contribuant ensemble à leurs effets bénéfiques sur la santé.

Vitamines

Les fruits et légumes contribuent de manière importante aux apports nutritionnels conseillés de certaines vitamines, comme la vitamine C, les folates (vitamine B9) et la vitamine A apportée par les caroténoïdes pro-vitaminiques A. Dans

¹ PNNS : Programme National Nutrition Santé

les enquêtes de consommation représentatives de la population française, les fruits et légumes participent aux apports à hauteur de 38% pour la vitamine A, 42% pour la vitamine B₉, 73% pour la vitamine C, mais aussi de 29% pour le potassium et 22% pour le magnésium.

La vitamine B₉, dont les ANC² sont de 330 µg par jour pour un adulte, est représentée par le groupe des folates ou polyglutamates. Les légumes feuilles (épinards) et les légumineuses en sont de bonnes sources (environ 200 µg de vitamine B₉ selon la table CIQUAL, de l'ANSES; <https://pro.anses.fr/tableciqual/>). Les folates participent au métabolisme des acides aminés et des acides nucléiques. Un déficit de folates chez la femme au moment de la procréation est associé à un risque de défaut de fermeture du tube neural du fœtus. Par ailleurs, l'apport en folates diminue le taux d'homocystéine dans le sang ce qui pourrait abaisser le risque de maladies cardio-vasculaires (Blancquaert et al., 2010).

La vitamine C (acide ascorbique), dont l'ANC est de 110 mg/j pour un adulte, est dotée de propriétés réductrices à la base de son activité biologique. Les principales sources de vitamine C sont les fruits exotiques (228 mg/100 g goyave), les petits fruits rouges (180 mg/100 g cassis), le poivron (159 mg/100 g), le kiwi (93 mg /100 g) et les agrumes (57 mg/100 g orange) (<https://pro.anses.fr/tableciqual/>). La tomate dont les teneurs moyennes sont de 25 mg pour 100 g est également un bon contributeur de vitamine C de par sa consommation importante dans la population générale. L'acide ascorbique est connu comme antioxydant (agent très réducteur) et ayant un rôle de cofacteur dans les réactions catalysées par l'oxygène (Padayatty et al., 2003). De plus, il est reconnu pour ses capacités d'inhibition de la synthèse des nitrosamines (composés cancérigènes) formées dans notre tube digestif à partir de nitrites et de composés aminés.

Les caroténoïdes pro-vitaminiques A (α- et β-carotènes) des végétaux de couleur orange (carotte, abricot...) sont métabolisés dans notre corps en rétinol ou vitamine A, qui a un rôle essentiel dans la physiologie des cellules nerveuses de la rétine. Les aliments d'origine animale (les produits laitiers et surtout les abats) contiennent du rétinol et des esters de rétinol. Les besoins quotidiens en vitamine A pour un adulte sont estimés de 700 µg à 1 mg environ. Le potentiel antioxydant des caroténoïdes revêt une importance particulière pour la santé humaine. Les données issues d'études épidémiologiques et d'essais cliniques confirment qu'une supplémentation adéquate en caroténoïdes peut contrecarrer le risque sur la santé médié par des espèces réactives d'oxygène (Fiedor et Burda, 2014).

La vitamine K, dont les besoins pour un adulte sont de 50 à 100 µg/j, est un cofacteur indispensable à la carboxylation de certaines protéines intervenant dans la coagulation sanguine et dans l'activation de l'ostéocalcine nécessaire à la minéralisation osseuse. Dans les études d'observation, l'insuffisance de vitamine K est généralement associée à une masse osseuse plus faible et à un risque accru de fracture de la hanche. Dans les végétaux, cette vitamine se trouve sous la forme vitamine K₁ (ou phylloquinone) et est apportée par les légumes verts (brocolis, chou, épinards). Il est suggéré que l'augmentation des apports de légumes et de légumineuses peut simultanément améliorer le statut en vitamine

K et la santé du squelette (Shea and Booth, 2008 ; O'Connor et al., 2014). Des produits végétaux fermentés (comme le nattō à base de haricots de soja) sont également des sources intéressantes de vitamine K.

Phytomicronutriments

Un ouvrage paru en 2012 a été consacré aux phytomicronutriments (Amiot et al., 2012). Les grandes lignes sont rappelées ci-après. Les aliments d'origine végétale contiennent de nombreux autres composés dotés d'activités biologiques diverses, antioxydantes, anti-inflammatoires, antimicrobiennes... Ce sont des micronutriments dits non essentiels de notre alimentation, car ils n'ont pas d'ANC établis, mais de nombreuses études, épidémiologiques, cliniques et expérimentales chez l'animal ou sur cellules, établissent qu'ils pourraient avoir également un effet préventif sur notre santé. Ces composés appartiennent à différentes familles : les polyphénols, les caroténoïdes (en dehors des caroténoïdes provitaminiques A précédemment cités) comme le lycopène ou la lutéine, les composés soufrés (glucosinolates et sulfures d'allyle). Ces composés jouent un rôle important de protection des plantes vis-à-vis des agressions environnementales. Les composés phénoliques sont connus comme des métabolites s'accumulant chez les végétaux en réponse à un stress. On leur a attribué le nom de phytoalexines, substances se formant après l'attaque de pathogènes ou d'insectes. Ainsi, le resvératrol est un stilbène de structure phénolique se formant dans la baie de raisin après une attaque fongique (la plus connue étant *Botrytis*) ; cette molécule se retrouvant dans le vin a fait l'objet de nombreuses études quant à ses bienfaits sur la santé. Compte tenu du rôle possible sur la santé humaine de toutes ces substances et du fait de leur présence dans l'alimentation, il est admis par la communauté scientifique de les nommer phytomicronutriments, même si leur essentialité n'a pas encore démontrée.

Les composés phénoliques sont classés en plusieurs sous-groupes dont les acides phénoliques, les flavonoïdes (anthocyanes, flavones, flavonols, flavanes, flavanols, et isoflavones) et les tanins. Des études épidémiologiques suggèrent une diminution de l'incidence de maladies cardiovasculaires associée à une forte consommation de flavonoïdes (Wang, 2014). Pendant longtemps, leur activité biologique a été attribuée à leur capacité antioxydante/antiradicalaire. Mais du fait de leur faible absorption et leur forte métabolisation dans notre corps, leurs effets biologiques ont été associés à leurs actions sur l'expression de gènes, notamment ceux impliqués dans le processus athérosclérotique. Les polyphénols sont aussi capables de diminuer d'autres facteurs de risque des maladies cardiovasculaires, comme l'hyperlipémie : ils peuvent inhiber certaines des enzymes clés de la synthèse du cholestérol et diminuer l'absorption intestinale des triglycérides par interaction avec les enzymes de la digestion lipidique ou déstabilisation des émulsions. Certains polyphénols, comme les isoflavones ou les lignanes, sont appelés phytoœstrogènes car ils sont capables d'avoir une action similaire aux œstrogènes naturellement produits par le corps ou pris sous forme de médicaments. Enfin, il faut noter que des études montrent des actions spécifiques des polyphénols sur le microbiote intestinal qui pourraient contribuer à leur bénéfique santé via un meilleur contrôle de la perméabilité intestinale (Cardona et al., 2013, Etxeberria et

² ANC : Apport Nutritionnel Conseillé

al., 2013, Tomás-Barberán *et al.*, 2016)

L'effet protecteur des caroténoïdes vis-à-vis de certaines grandes pathologies chroniques serait dû à leur pouvoir antioxydant (Fiedor et Burda, 2014). Les caroténoïdes sont capables de neutraliser les espèces oxygénées réactives délétères pour nos cellules. Le caroténoïde le plus efficace en tant que piègeur de radicaux libres est le lycopène, suivi par l'alpha-carotène, la bêta-cryptoxanthine, la zéaxanthine, le beta-carotène, et la lutéine. Les caroténoïdes ont certainement un rôle de complémentarité ou de synergie avec d'autres antioxydants tels que les vitamines C et E. Le lycopène, pigment rouge de la tomate, participerait à la protection contre certaines formes de cancer (prostate) et les risques cardiovasculaires. En plus de ses propriétés antioxydantes, le lycopène, en raison de sa faible biodisponibilité, présenterait aussi des effets biologiques mettant en jeu des activités anti-inflammatoires, antimutagéniques, anticarcinogènes. La lutéine jouerait un rôle protecteur vis-à-vis de la dégénérescence maculaire liée à l'âge, en agissant directement en tant qu'antioxydant mais aussi indirectement en absorbant la lumière bleue responsable de la formation de radicaux libres. Les légumes verts à feuilles, le cresson et les épinards, font partie des aliments contenant le plus de lutéine.

Les composés soufrés sont également présents dans divers végétaux, sous forme de glucosinolates dans les choux et les brocolis et de sulfures d'allyle dans les alliacées (ail, oignon, poireaux). Ces composés agissent favorablement sur les processus de la cancérogénèse par leur conversion en plus petites molécules.

Variation de la composition nutritionnelle

Les connaissances sur les différents facteurs qui influent sur la composition nutritionnelle des fruits et légumes et qui sont exposées dans la suite du texte, y compris sur les technologies de conservation, sont plus directement issues du chapitre 2 (Causse et Renard coord, 2007) de l'expertise collective de l'Inra citée précédemment (Combris *et al.*, 2007) et du chapitre 4 (Renard *et al.*, 2012) du livre sur les phytomicronutriments, également cité ci-dessus (Amiot *et al.*, 2012).

Espèces

Des différences importantes de composition nutritionnelle existent entre les espèces. Les fruits acides (petits fruits rouges, agrumes) sont des sources intéressantes de vitamine C alors que la pomme est pauvre en cette vitamine.

Certaines couleurs de fruits ou de légumes sont le reflet de micronutriments spécifiques. Le bleu-violet est caractéristique des anthocyanes, dont les baies sont riches. La couleur jaune-orange de nombreux produits végétaux est due à la présence de caroténoïdes pro-vitaminiques A, tels que l'alpha et le bêta-carotène et la bêta-cryptoxanthine. Les flavonols, légèrement jaunes, sont en petite quantité dans la plupart des aliments d'origine végétale, et en quantité élevée dans les oignons, les choux, et les brocolis, mais aussi la pomme. Le rouge reflète, soit la présence de lycopène, caroténoïde ayant le plus grand pouvoir antioxydant, soit d'anthocyanes, pigments hydrosolubles présents dans la peau de nombreux fruits. Les anthocyanes sont caractéristiques des fruits acides. Le vert des produits végétaux riches en chlorophylles est caractéristique d'une source de nom-

breux autres phytomicronutriments, comme la lutéine, et aussi des vitamines K et B9 (folates). Le blanc, associé à des odeurs et saveurs particulières, indique la présence des composés soufrés. Le marron révèle des quantités importantes d'acides phénoliques dans les boissons, comme le café, dans les céréales non raffinées et dans les noix et les châtaignes.

Variétés

De nombreuses études comparant les teneurs en micronutriments essentiels et non essentiels dans des fruits ou légumes de plusieurs variétés d'une même espèce, cultivées dans les mêmes conditions montrent une grande gamme de variation. Plusieurs exemples illustrent cette variation. A la récolte, pour 100 g de poids frais, les teneurs en vitamine C varient de 5 à 150 mg dans la tomate (Combris *et al.*, 2007) et celle des polyphénols de 90 mg à 300 mg dans la pomme (Brat *et al.*, 2006).

Conditions environnementales

D'une manière générale les variations d'origine climatique ou agronomique sont plus faibles que celles attribuées à la génétique. Parmi les facteurs étudiés avant la récolte, on a constaté que la température et l'intensité lumineuse ont une grande influence sur le contenu nutritionnel (vitamine C, caroténoïdes, polyphénols).

Des différences de composition en micronutriments ont été observées suivant le climat des régions de culture. Au sein du groupe des mandariniers et des orangers (Dhuique-Mayer *et al.*, 2005), les conditions méditerranéennes exacerbent les teneurs en β -carotène et β -cryptoxanthine des mandarines et les teneurs en lutéine, zéaxanthine et violaxanthine des oranges. A l'inverse, l'accumulation du lycopène est plus forte sous les tropiques pour le pomelo Star Ruby.

La température impacte la biosynthèse des caroténoïdes. Le cas du lycopène de la tomate illustre bien cet effet de la température. En effet, la synthèse de ce caroténoïde présente un optimum à 25°C, et est inhibée au-dessus de 35°C. Chez la tomate, il a été montré que les concentrations en lycopène, mais aussi en vitamine C, étaient significativement plus faibles lorsqu'une température de 32°C a été imposée au stade avancé de développement des fruits par rapport aux niveaux observés pour une température de 24°C (Hernández *et al.*, 2015). Enfin, il a été montré qu'un rayonnement UV augmente les concentrations d'ascorbate (Vitamine C), de lycopène, de β -carotène, de rutine et d'acide caféique dans la tomate (Gautier *et al.*, 2008).

Pratiques culturales

Les pratiques culturales, en particulier les pratiques d'irrigation et de fertilisation, affectent les teneurs en vitamines et minéraux des fruits et légumes.

Il est possible de promouvoir la qualité nutritionnelle des fruits et légumes en appliquant des stratégies d'irrigation économes en eau dans des environnements semi-arides. Les conditions de stress hydrique appliquées à la tomate affectent le rendement global, mais augmentent les contenus en vitamine C (+20%) et en polyphénols (+13%) (Barbagallo *et al.*, 2013). La salinisation des sols est un problème croissant dans de nombreuses régions du monde. Dans le cas des

chicorées, l'augmentation de la salinité a entraîné des changements importants de la teneur en micronutriments (sucres, minéraux, vitamines C et E), alors que la concentration en composés phénoliques n'a pas été significativement affectée (Petropoulos *et al.*, 2017). L'amélioration de la qualité nutritionnelle de fraises a été observée en conditions salines, avec des teneurs plus élevées en composés antioxydants (Cardeñosa *et al.*, 2015).

La fertilisation chimique (azote, phosphore et potasse) est une pratique pour augmenter les rendements. D'une manière générale, une fertilisation azotée importante tend à diminuer la concentration en vitamine C ainsi que le contenu en polyphénols (Combris *et al.*, 2007).

Production biologique versus production intégrée et conventionnelle

Il est difficile de comparer les produits entre eux, car peu d'études ont été menées en considérant les mêmes variétés, les mêmes conditions environnementales jusqu'aux mêmes conditions de distribution. En effet, la production biologique implique un parcours souvent différent de la production dite conventionnelle. Les pratiques agricoles biologiques sont fondées sur quatre grands principes élaborés par l'IFOAM Organics International (<http://www.ifoam.bio/en/organic-landmarks/principles-organic-agriculture>): santé, écologie, équité et précaution. Une différence notable entre AB et AC réside dans l'utilisation de fertilisants, respectivement biologiques ou chimiques, ce qui a des conséquences sur la composition nutritionnelle des produits. La rigoureuse méta-analyse de Baranski (Baranski *et al.*, 2014) basée sur 343 publications scientifiques indique des différences statistiquement significatives dans la composition entre les deux modes de production. Les produits « bio » contiennent significativement plus de minéraux et de vitamines (vitamine C). D'une manière générale, les teneurs en antioxydants, et surtout celles en polyphénols, se sont avérées être plus élevées dans les produits « bio ». Par contre, le taux de protéines est plus faible dans les produits céréaliers « bio ». Mais la question se pose de savoir si ces différences de composition nutritionnelle impactent les effets santé. Quant à la fréquence d'apparition de résidus de pesticides, elle s'est avérée être quatre fois plus élevée dans les cultures conventionnelles. Dans la méta-analyse de Baranski, les produits conventionnels contenaient des concentrations significativement plus élevées de cadmium reconnu comme un métal toxique, provenant des engrais chimiques. Enfin, les modes de production des légumes biologiques conduisent à des réductions des teneurs en nitrates (Baranski *et al.*, 2012).

Les produits frais prêts à consommer

Dans les fruits et légumes de première et quatrième gamme (fraîchement coupés)³, les micronutriments peuvent être affectés par un certain nombre de facteurs comme le génotype, les facteurs avant la récolte et l'état de maturité, notamment sur l'apparition de brunissement qui résulte d'une

oxydation enzymatique des polyphénols en présence d'oxygène altérant la qualité superficielle au niveau des zones de coupe.

L'épluchage est une étape impactant fortement la qualité nutritionnelle des produits végétaux. Certains nutriments sont très concentrés dans les parties externes des fruits et légumes. L'épluchage est donc un facteur majeur de diminution des teneurs en phytom micronutriments en particulier pour les polyphénols, mais aussi les caroténoïdes. Dans la pomme, 50 % des polyphénols sont concentrés dans l'épiderme (Guyot *et al.*, 2003). Mais la pomme a aussi une teneur plus élevée en polyphénols autour des pépins, c'est pourquoi quand on coupe une pomme, apparaît un brunissement autour des pépins qui est dû à l'oxydation des polyphénols en présence d'oxygène de l'air. Dans la tomate, la peau et les graines contribuent en moyenne à 53 % des polyphénols, 48 % du lycopène, 43 % de la vitamine C (Toor *et al.*, 2006). Concernant la conservation des produits frais, il n'existe à l'heure actuelle que peu de solutions techniques (température, atmosphère contrôlée, humidité) pour préserver de façon optimale la qualité nutritionnelle des produits frais. Par conséquent, leur conservation conduit généralement à une diminution des teneurs en micronutriments qui peut varier de 10 à 90 % selon la fragilité des produits (Will *et al.*, 1998). Les légumes feuilles qui présentent une surface de contact avec l'air très importante vont être les plus affectés via l'oxydation de leurs vitamines par l'oxygène de l'air.

Les produits prédécoupés sont plus sensibles aux conditions de stockage que les produits bruts, dans lesquels les tissus épidermiques constituent une barrière à l'oxygène, ce qui permet de préserver toutes les vitamines oxydables, comme la vitamine C. Les polyphénols, à l'exception des anthocyanes, sont généralement stables en cours de conservation des fruits et des légumes frais. De manière générale, la conservation après récolte entraîne une perte en caroténoïdes. De plus, à la préparation de salades, les pertes en caroténoïdes peuvent être importantes par l'ajout d'une sauce acide.

L'exposition à la lumière pendant le stockage n'a pas d'effet sur la qualité et la perte de teneur en micronutriments.

Les technologies d'emballage telles que l'emballage sous atmosphère modifiée (c'est-à-dire une faible teneur en O₂ et / ou une atmosphère de CO₂ élevée à l'intérieur de l'emballage) permettent de mieux préserver la qualité nutritionnelle des produits fraîchement coupés.

Les produits stabilisés par la température

Conservation par le froid

La conservation par le froid est un bon moyen de stabilisation et de conservation. Dans la surgélation, en dehors de l'épluchage précédemment décrit, il existe trois étapes sources de variation de la qualité nutritionnelle : lavage/blanchiment, congélation et décongélation.

Les opérations de lavage et de blanchiment avant congélation diminuent les teneurs en composés hydrosolubles, comme les folates, les glucosinolates, et certains polyphénols, susceptibles d'être perdus par diffusion dans l'eau.

La congélation ralentit fortement les réactions chimiques de dégradation. Elle permet donc de préserver la qualité nutritionnelle à condition que les emballages ne soient pas perméables à l'oxygène. Par ailleurs, plus le végétal est fine-

³ Il existe six gammes : la 1^{ère} gamme ou 1^{ère} gamme améliorée, produits frais, éventuellement parés ou tranchés, conservés à température ambiante ou réfrigérés ; la 2^{ème} gamme, produits pasteurisés ou stérilisés, conservés à température ambiante ; la 3^{ème} gamme, produits surgelés, conservés à -18°C ; la 4^{ème} gamme, produits frais prédécoupés, prêt à l'emploi (salades sous sachet par exemple) conservés au froid (+4°C) ; la 5^{ème} gamme, produits cuits sous vide, pasteurisés ou stérilisés, conservés au froid (+4°C) ; la 6^{ème} gamme, produits déshydratés, conservés à température ambiante. Les produits frais concernent les 1^{ère} et 4^{ème} gammes et les autres gammes sont des produits transformés.

ment découpé ou broyé plus la sensibilité à l'oxygène des composés est grande entraînant des pertes importantes. Les caroténoïdes sont assez stables dans ces conditions de conservation. Cependant, pour des cubes ou de la purée de pastèque congelés des pertes de 30-40 % ont été observées après un an de stockage à -20°C (Fish *et al.*, 2003). Les polyphénols sont également stables à la congélation. Par contre la durée de stockage peut avoir un impact sur la baisse de ces composés (Puuponen-Pimia *et al.*, 2003).

La décongélation peut avoir un effet majeur, selon la vitesse de décongélation et la présence ou non d'activités enzymatiques oxydatives résiduelles. Ainsi pour les glucosinolates, sans blanchiment préalable permettant d'inhiber les enzymes de leur dégradation, leur disparition est quasi-totale lors de la décongélation. Le blanchiment est une étape essentielle à la rétention de ces molécules.

Produits stabilisés par des températures élevées

Étant donné la diversité des produits en termes de composition, de leurs modes de préparation, des couples température/temps appliquées, les variations peuvent être très différentes. Néanmoins, on peut dégager quelques grandes tendances lors de la préparation de ces produits. Les composés hydrosolubles comme les folates, la vitamine C, les glucosinolates et certains polyphénols sont susceptibles d'être lessivés lors de la cuisson à la vapeur mais surtout par la cuisson à l'eau (Gil *et al.*, 1999 ; Delchier *et al.*, 2012). La cuisson dans un minimum d'eau ou vapeur est recommandée pour une plus grande rétention de ces composés.

Les fibres sont peu sensibles à la température ; la température entraîne une réorganisation interne entre fibres solubles et insolubles. Les polyphénols semblent également stables au traitement thermique (Price *et al.*, 1998). Par contre, les caroténoïdes et la vitamine C sont des composés sensibles à la température et aux réactions d'oxydation. Pour les glucosinolates, la chaleur inhibe la myrosinase empêchant la transformation des glucosinolates en isothiocyanates. Cependant, à partir de 125 °C, les glucosinolates sont dégradés en isothiocyanates (Jiao *et al.*, 1998). Leur dégradation s'opère quand la montée en température est relativement lente. Notons que la dégradation des glucosinolates en isothiocyanates intervient également lors de la digestion.

Les produits déshydratés

La déshydratation s'effectue par des séchages classiques ou par des méthodes d'échanges de solutés (confisage, déshydratation osmotique). Dans le cas du séchage classique, il n'y a pas de perte à la diffusion, mais des dégradations enzymatiques peuvent se produire. Les caroténoïdes et la vitamine C sont particulièrement sensibles à ces opérations. Lors de séchage long comme pour l'obtention du pruneau, les polyphénols sont oxydés d'où cette couleur brun foncé du pruneau. Pour le confisage ou séchage osmotique, des pertes peuvent être plus importantes principalement par diffusion. Mais, la déshydratation osmotique présente un certain nombre d'atouts par rapport aux techniques traditionnelles de séchage. En particulier, les produits sont traités à des températures plus basses (entre 5 et 85°C) et surtout à l'abri de l'oxygène puisqu'ils sont immergés, ce qui est particulièrement favorable pour les produits sensibles aux réactions de dégradation thermique et oxydative.

Des procédés innovants : champs électriques pulsés et hautes pressions

L'impact sur la qualité nutritionnelle des champs électriques pulsés est globalement le même que celui des traitements thermiques classiques. Par contre, pour des produits traités par hautes pressions, la vitamine C et le bêta-carotène sont impactés différemment. Globalement, les études montrent que la rétention de la vitamine C après un traitement « hautes pressions » est supérieure à 80% (Barrett et Lloyd, 2012). Cependant, l'utilisation de niveaux de pression à hauteur de 6000 bars peut aboutir à une dégradation de la vitamine C similaire à celle obtenue avec une pasteurisation thermique (Landl *et al.*, 2010), ce qui serait dû à des dégradations oxydatives. Les études portant sur le bêta-carotène sont également controversées. En effet, le bêta-carotène dans un jus d'orange augmente de 30% sous l'effet d'un traitement de 4000 bars à 40°C pendant une minute, sans doute du fait d'une meilleure extraction des caroténoïdes sous hautes pressions (Sanchez-Moreno *et al.*, 2003). D'autres études ont montré que des traitements hautes pressions avec des durées plus longues n'avaient aucun effet sur le contenu en bêta-carotène (Butz *et al.*, 2003) mais aussi pouvaient entraîner des pertes jusqu'à 60% (Kim *et al.*, 2001). Il est important de noter que les hautes pressions ne permettent pas une inactivation totale des enzymes oxydatives, d'où une stabilité moindre du produit avec un brunissement qui peut apparaître au cours du stockage des produits transformés, comme par exemple dans les jus de pomme.

La fermentation

D'innombrables produits, dont les fruits et légumes, peuvent être fermentés (Di Cagno *et al.*, 2013). La lactofermentation ne nécessite aucune énergie et a une action antiseptique sur les fruits et légumes. Par ailleurs, la teneur en vitamines des produits lactofermentés est préservée. Non seulement la fermentation assure une bonne conservation des vitamines présentes (notamment l'acidité du milieu est favorable à la conservation de la vitamine C), mais les microorganismes synthétisent également de nouvelles vitamines (notamment du groupe B). L'ingestion de produits lactofermentés favoriserait la flore intestinale.

Conclusions

La qualité nutritionnelle des produits végétaux varie tout au long de la filière du champ à l'assiette (Figure 1). Les fibres et les micronutriments ont des comportements différents comme le résume le tableau 1. La qualité nutritionnelle n'est qu'une composante de la qualité globale, qui intègre d'autres dimensions, sensorielle, microbiologique, toxicologique, mais aussi d'usage comme la praticité. Il faut tenter de trouver un compromis combinant tous ces critères pour avoir une offre alimentaire saine, sûre et savoureuse, mais aussi dans le respect de l'homme et de l'environnement. La gestion de la variabilité des produits est une cible importante pour les entreprises de la transformation pour satisfaire la demande et éviter le gaspillage. C'est tout l'enjeu des objectifs de durabilité au cœur des systèmes alimentaires, de la production à la consommation, préservant la santé, l'environnement, la solidarité et l'économie locale.

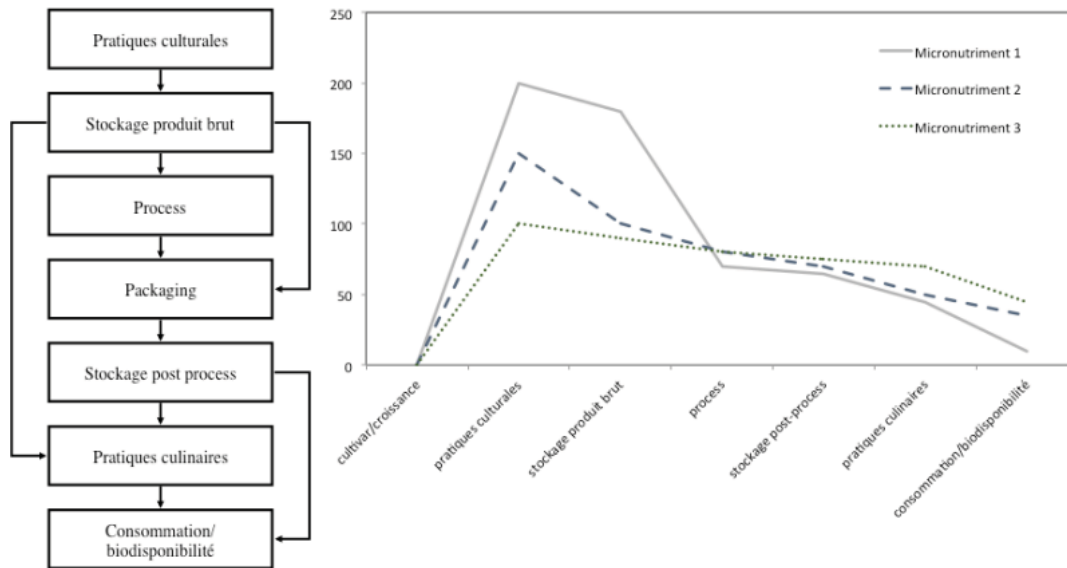


Figure 1 : Devenirs hypothétiques de trois micronutriments des fruits et légumes le long de la filière du champ à la consommation

Principales causes d'altérations au cours de la vie du produit

	Après récolte	Élimination des parties externes	Sensibilité à l'oxydation	Sensibilité à la chaleur	Solubilité et pertes par diffusion
Composés	Fibres	stable	non sensibles	peu sensibles	diffusent peu sauf pectines solubles
	Acide Ascorbique	instable	Très sensible	Très sensible	diffuse dans l'eau
	Folates				
	Polyphénols	relativement stable	dépend des structures	dépend des structures	
	Caroténoïdes		sensibles	sensibles	diffuse dans l'huile

Tableau 1 : Principales causes d'altération de la qualité nutritionnelle en fonction des composés

Références bibliographiques

Amiot MJ, Coxam V, Strigler F (2012). Les phytomicronutriments. IFN/FFAS. Editions Tec & Doc, Lavoisier, 382p.

ANSES (2016a). Actualisation des repères du PNNS : révision des repères de consommations alimentaires.

ANSES (2016b). Actualisation des repères du PNNS : étude des relations entre consommation de groupes d'aliments et risque de maladies chroniques non transmissibles -Rapport d'expertise collective.

Baranski M, Srednicka-Tober D, Volakakis N et al (2014). Higher antioxidant and lower cadmium concentrations and lower incidence of pesticide residues in organically grown crops: a systematic literature review and meta-analyses. *Br J Nutr* 114, 794-811.

Barbagallo RN, Di Silvestro I, Patané C (2013). Yield, physico-chemical traits, antioxidant pattern, polyphenol oxidase activity and total visual quality of field-grown processing tomato cv. Brigade as affected by water stress in Mediterranean climate. *J Sci Food Agric* 93, 1449-1457.

Blancquaert D, Storozhenko S, Loizeau K, DeBrouwer V, Viaene J, Rébéillé F, Ravanel S, Lambert V, Van Der Straeten D (2010). Folates and Folic Acid: From Fundamental Research Toward Sustainable Health. *Crit Rev Plant Sci* 29, 14-35.

Barrett DM, Lloyd B (2012). Advanced preservation methods and nutrient retention in fruits and vegetables. *J Sci Food Agric* 92, 7-22.

Brat P, Georgé S, Bellamy A, Du Chaffaut L, Scalbert A, Mennen L, Arnault N, Amiot MJ (2006). Daily polyphenol intake in France from fruit and vegetables. *J Nutr* 136, 2368-2373.

Butz P, Garcia AF, Lindauer R, Dieterich S, Bognar A, Tauscher B (2003). Influence of ultra high pressure processing on fruit and vegetable products. *J Food Eng* 56, 233-236.

Cardenosa V, Medrano E, Lorenzo P, Sánchez-Guerrero MC, Cuevas F, Pradas I, Moreno-Rojas JM (2015). Effects of salinity and nitrogen supply on the quality and health-related compounds of strawberry fruits (*Fragaria × ananassa* cv. Primoris). *J Sci Food Agric* 95, 2924-2930.

Cardona F, Andrés-Lacueva C, Tulipani S, Tinahones FJ, Queipo-Ortuño MI (2013). Benefits of polyphenols on gut microbiota and implications in human health. *J Nutr Biochem* 24, 1415-1422.

- Causse M (coord.), Chervin C, Mauget JC, Renard C (coord.). Les sources de variabilité des qualités nutritionnelles des fruits et légumes, ch. 2 p 173-235, in Combris P, Amiot-Carlin MJ, Caillavet F, Causse M, Dallongeville J, Padilla M, Renard C, Soler LG (éditeurs) Expertise scientifique collective INRA Les fruits et légumes dans l'alimentation Enjeux et déterminants de la consommation, Rapport d'expertise 2007.
- Combris P, Amiot-Carlin MJ, Caillavet F, Causse M, Dallongeville J, Padilla M, Renard C, Soler LG (2008). Les fruits et légumes dans l'alimentation-enjeux et déterminants de la consommation. Expertise Collective (novembre 2007) Editions Quae.
- Delchier N, Reich M, Renard CMGC (2012). Impact of cooking methods on folates, ascorbic acid and lutein in green beans (*Phaseolus vulgaris*) and spinach (*Spinacea oleracea*). *LWT - Food Science and Technology* 49, 197-201.
- Dhuique-Mayer C, Caris-Veyrat C, Ollitrault P, Curk F & Amiot MJ (2005) Varietal and interspecific influence on micronutrient contents in *Citrus* from the Mediterranean area. *J Agric Food Chem* 53, 2140-2145.
- Di Cagno, R, Coda R, De Angelis M, Gobbetti M (2013). Exploitation of vegetables and fruits through lactic acid fermentation. *Food Microbiol* 33, 1-10.
- Etxeberria U, Fernández-Quintela A, Milagro FI, Aguirre L, Martínez JA, Portillo MP (2013). Impact of polyphenols and polyphenol-rich dietary sources on gut microbiota composition. *J Agric Food Chem* 61, 9517-9533.
- Fiedor J, Burda K (2014). Potential role of carotenoids as antioxidants in human health and disease. *Nutrients* 6, 466-488.
- Fish WW, Davis, AR (2003). The effects of frozen storage conditions on lycopene stability in watermelon tissue. *J Agric Food Chem* 51, 3582-3585.
- Gautier H, Diakou-Verdin V, Bénard C, Reich M, Buret M, Bourgaud F, Poëssel JL, Caris-Veyrat C, Génard M (2008). How Does Tomato Quality (Sugar, Acid, and Nutritional Quality) Vary with Ripening Stage, Temperature, and Irradiance? *J Agric Food Chem* 56, 1241-1250.
- Gil, M. I., Ferreres, F., and Tomas-Barberan, F. A. (1999). Effect of postharvest storage and processing on the antioxidant constituents (flavonoids and vitamin C) of fresh-cut spinach. *J Agric Food Chem* 47, 2213-2217.
- Guyot S, Marnet N, Sanoner P & Drilleau JF (2003). Variability of the polyphenolic composition of cider apple (*Malus domestica*) fruits and juices. *J Agric Food Chem* 51, 6240-6247.
- Hernández V, Hellín P, Fenoll J, Flores P (2015). Increased temperature produces changes in the bioactive composition of tomato, depending on its developmental stage. *J Agric Food Chem* 63, 2378-2382.
- Jiao D, Yu, MC, Hankin JH, Low SH, Chung FL (1998). Total isothiocyanate contents in cooked vegetables frequently consumed in Singapore. *J Agric Food Chem* 46, 1055-1058.
- Kim YS, Park SJ, Cho YH, Park J (2001). Effects of combined treatment of high hydrostatic pressure and mild heat on quality of carrot juice. *J Food Sci* 66, 1355-1360.
- Landl A, Abadias M, Sárraga C, Viñas I, Picouet PA (2010). Effect of high pressure processing on the quality of acidified Granny Smith apple purée product. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 11,5 57-564.
- O'Connor EM, Grealy G, McCarthy J, Desmond A, Craig O, Shanahan F, Cashman KD (2014). Effect of phylloquinone (vitamin K1) supplementation for 12 months on the indices of vitamin K status and bone health in adult patients with Crohn's disease. *Br J Nutr* 112(7):1163-74.
- Padayatty SJ, Katz A, Wang Y, Eck P, Kwon O, Lee JH, Chen S, Corpe C, Dutta A, Dutta SK, Levine M (2003). Vitamin C as an antioxidant: Evaluation of its role in disease prevention. *J Am Coll Nut* 22, 18-35.
- Petropoulos SA, Levizou E, Ntatsi G, Fernandes Â, Petrotos K, Akoumianakis K, Barros L, Ferreira IC (2017). Salinity effect on nutritional value, chemical composition and bioactive compounds content of *Cichorium spinosum* L. *Food Chem* 214, 129-136.
- Price KR, Colquhoun IJ, Barnes KA, Rhodes, MJC (1998). Composition and content of flavonol glycosides in green beans and their fate during processing. *J Agric Food Chem* 46, 4898-4903.
- Puuponen-Pimia R, Hakkinen ST, Aarni M, Suortti T, Lampi AM, Euroala M, Piironen V, Nuutila AM, Oksman-Caldentey KM (2003). Blanching and long-term freezing affect various bioactive compounds of vegetables in different ways. *J Sci Food Agric* 83, 1389-1402.
- Renard C, Aude Hyardin A, Verdelle P Sources, consommation, et principaux facteurs de variation des phytomicronutriments, Chapitre 4 p. 27-48, in Amiot MJ, Coxam V, Strigler F (2012). Les phytomicronutriments. IFN/FFAS. Editions Tec & Doc, Lavoisier.
- Sanchez-Moreno C, Plaza L, de Ancos B, Cano MP (2003). Vitamin C, provitamin A carotenoids, and other carotenoids in high-pressurized juice during refrigerated storage. *J. Agric Food Chem*, 51, 647-653.
- Shea MK, Booth S (2008). Update on the role of vitamin K in skeletal health. *Nutr Rev* 66, 549-557.
- Tomás-Barberán FA, Selma MV, Espín JC (2016). Interactions of gut microbiota with dietary polyphenols and consequences to human health. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 19, 471-476.
- Toor RK, Savage GP (2006). Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes. *Food Chem* 94, 90-97.
- Wang, X (2014). Flavonoid intake and risk of CVD : a systematic review and meta-analysis of prospective cohort studies. *Brit J Nutr* 111, 1-11.
- Will R, McGlasson B, Graham D, Joyce D (1998). Postharvest. An introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals, pp. 351-352. CAB International, Wallingford UK.