



ELSEVIER  
MASSON

Disponible en ligne sur [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

 ScienceDirect

Nutrition clinique et métabolisme 21 (2007) 66–75

NUTRITION CLINIQUE  
et MÉTABOLISME

<http://france.elsevier.com/direct/NUTCLI/>

Article original

## Effet d'une alimentation riche en fruits et légumes sur les taux plasmatiques en antioxydants et des marqueurs des dommages oxydatifs

### Effect of a diet rich in fruits and vegetables on the plasmatic antioxidant rates and of the markers of the oxidative damage

Joël Pincemail<sup>a,b,\*</sup>, Fabian Degrune<sup>b</sup>, Sylvain Voussure<sup>c</sup>, Christian Malherbe<sup>c</sup>,  
Nicolas Paquot<sup>d</sup>, Jean-Olivier Defraigne<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Service de chirurgie cardiovasculaire, université de Liège, CHU, bâtiment B35, Sart Tilman, 4000 Liège, Belgique

<sup>b</sup> Centre de recherche du département de chirurgie cardiovasculaire (CREDEC), université de Liège, CHU, bâtiment B35, Sart Tilman, 4000 Liège, Belgique

<sup>c</sup> Service de diététique, université de Liège, CHU, bâtiment B35, Sart Tilman, 4000 Liège, Belgique

<sup>d</sup> Service de diabétologie, de nutrition et des maladies métaboliques, université de Liège, CHU, bâtiment B35, Sart Tilman, 4000 Liège, Belgique

#### Résumé

Les fruits et légumes contiennent beaucoup de vitamines essentielles, d'antioxydants (vitamine C, caroténoïdes, flavonoïdes), de minéraux, de fibres et d'eau. Les nutritionnistes recommandent de manger au moins cinq portions de fruits et légumes par jour afin de se protéger au maximum contre l'apparition de diverses pathologies chroniques (maladies cardiovasculaires, cancer...) dans lesquelles un stress oxydant est potentiellement impliqué. Il convient toutefois de mieux définir à quoi correspondent ces cinq portions de fruits et légumes en termes de quantité, de choix, de couleur et de variabilité de ces aliments. Par ailleurs, peu d'informations existent sur l'impact réel de ce type d'alimentation sur le statut de stress oxydant d'un individu, que ce soit au niveau des taux plasmatiques en antioxydants que des marqueurs de dommages oxydatifs. Le but du présent papier est de faire une synthèse des études les plus significatives sur le sujet.

© 2007 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

#### Abstract

Fruits and vegetables contain high quantity of essential vitamins, antioxidants (vitamin C, carotenoids, flavonoids), minerals, fibers and water. Health professionals recommend to eat at least 5 servings of fruits and vegetables per day since people who eat more generous amounts as part of a healthful diet are likely to have reduced risk of chronic diseases in which an increased oxidative stress is potentially implicated (cardiovascular diseases, cancers...). However, more precisions should be given in order to clarify what does it really mean 5 servings with respect to the quantity, the choice, the colour and the variability of these aliments. Moreover, only a few data are available about the impact of such a diet on the oxidative stress status of an individual (plasma concentrations in antioxidants and markers of oxidative stress). The present paper was to summarize the most significant studies about this matter.

© 2007 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

*Mots clés* : Fruits et légumes ; Antioxydants ; Marqueurs d'oxydation

*Keywords*: Fruits and vegetables; Antioxidants; Markers of oxidative damage

\* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : [J.Pincemail@chu.ulg.ac.be](mailto:J.Pincemail@chu.ulg.ac.be) (J. Pincemail).

## 1. Introduction

Le régime méditerranéen riche en fruits et légumes auquel viennent s'ajouter un apport calorique faible, un apport régulier en poisson mais faible en viande rouge, une consommation régulière d'huile d'olive et la prise de vin rouge en quantité modérée (100–150 ml/j) a acquis toutes ses lettres de noblesse pour ses effets sur la réduction de l'incidence des maladies cardiovasculaires [1,2]. Deux méta-analyses épidémiologiques récentes [3,4] confirment l'association inverse entre la consommation de légumes (et dans une moindre mesure des fruits) et la diminution de risque de cancer du sein et de l'estomac. D'autres méta-analyses réfutent toutefois cet effet bénéfique des fruits et légumes sur l'incidence du cancer [5,6].

Si les mécanismes précis de l'effet protecteur des fruits et légumes sont loin d'être encore élucidés, il n'en demeure pas moins qu'une hypothèse intéressante est liée à la présence d'antioxydants en grande quantité dans ces aliments. L'oxygène indispensable à notre vie est capable de produire en grande quantité dans notre organisme des dérivés toxiques (dont les fameux radicaux libres) qui induisent des modifications oxydatives au niveau des lipides, l'ADN et les protéines. À des degrés variables, celles-ci sont impliquées dans le développement des maladies cardiovasculaires, des cancers, des complications du diabète ou encore des affections neurologiques dégénératives [7]. Pour se protéger contre cet oxygène toxique, notre organisme dispose d'un réseau antioxydant très complexe composé d'enzymes, de protéines transporteuses du fer et du cuivre, de vitamines, de caroténoïdes, de flavonoïdes, d'oligo-éléments et d'autres molécules de petite taille (glutathion, ubiquinone).

La plupart de ces antioxydants se retrouvent dans les fruits et légumes, ce qui en renforce tout leur intérêt en matière de prévention des diverses pathologies citées ci-dessus. Plusieurs pays ont ainsi mené des campagnes de type « 5 or 6 – a – day », visant à inciter le grand public à consommer au moins entre cinq et dix portions de fruits et légumes par jour, soit un équivalent minimal de 600 g par jour [8–10].

L'objectif du présent papier est de dresser l'inventaire des études permettant d'établir la relation entre la consommation de fruits et légumes, et l'amélioration du statut de stress oxydant chez l'homme.

## 2. Recherches bibliographiques

En raison de la difficulté de leur mise en œuvre, les études d'intervention visant à montrer qu'une consommation riche en fruits et légumes a réellement une incidence sur les taux plasmatiques en antioxydants, et plus particulièrement la vitamine C et les caroténoïdes, restent relativement limitées. Sur base d'une recherche informatique, nous avons retenu 22 études [11–32], s'échelonnant de 1994 à 2005 (Tableau 1). L'ensemble des études retenues dans diverses régions du globe montre indéniablement qu'une consommation accrue en fruits et légumes conduit à une augmentation significative de la concentration plasmatique en antioxydants, que sont la vita-

mine C et divers caroténoïdes comme l' $\alpha$ - et le  $\beta$ -carotène, la lutéine et le lycopène (Tableau 1). À titre d'exemple, citons l'étude de Zino et al. [15] qui montre que le simple fait de passer de trois portions de fruits et légumes à huit portions par jour permet, après deux semaines de ce changement d'habitudes alimentaires, d'augmenter significativement la concentration plasmatique en vitamine C et en  $\beta$ -carotène de respectivement 72,8 et 53 %.

## 3. Qu'est-ce qu'un régime enrichi en fruits et légumes ?

Peu d'informations réellement pratiques existent à ce sujet. Dans l'étude de Zino et al. [15], une portion est définie comme étant :

- une tasse de légumes crus ;
- une demi-tasse de légumes cuits ;
- trois quarts de tasse de jus de légumes ;
- un fruit entier de taille moyenne (e.g. une pomme) ;
- une demi-tasse de fruits cuits ou trois quarts de tasse de jus de fruits.

Aucune précision n'est toutefois donnée sur la façon dont ces portions doivent être ingérées au cours des huit semaines de régime. Dans l'étude de Broekmans et al. [21], un cycle de menus sur une période d'une semaine est clairement défini à la fois en termes de type de fruits et de légumes et de quantité précise dans les groupes appauvris et enrichis en ces aliments. Beaucoup plus rationnelle est l'étude récente menée par le groupe de Dragsted et al. ([33], non repris dans le tableau). Deux groupes ont suivi pendant 25 jours un régime de base strictement identique ne comprenant pas de fruits et de légumes (cinq menus journaliers différents [apport énergétique 10 MJ/j] utilisés en rotation pendant toute la durée de l'étude). Le groupe 1 (placebo) continue à suivre ce régime de base ; celui du groupe 2 (Fruveg) est enrichi par un apport journalier total de 600 g de fruits et légumes, dont chaque aliment sélectionné est bien quantifié (équivalent d'un apport nutritionnel de 200 mg/j en vitamine C et de 10,8 mg/j en  $\beta$ -carotène). Le régime de base se traduit au bout des 25 jours par une diminution de  $\pm 60$  % de la concentration plasmatique en vitamine C, de  $\pm 50$  % en  $\beta$ -carotène et de  $\pm 30$  % en lycopène. Le régime enrichi en fruits et légumes permet de maintenir un taux plasmatique en vitamine C identique par rapport au début de l'étude (12,4  $\mu$ g/ml), tandis que la concentration en  $\beta$ -carotène est augmentée significativement de 2,25 fois (30  $\mu$ g/dl). Très riche en enseignements, cette étude montre bien qu'une non-consommation de fruits et légumes conduit à des valeurs plasmatiques en vitamine C de l'ordre de 3,55  $\mu$ g/ml, ce qui est considéré comme étant un facteur de risque cardiovasculaire [34]. Dans un papier tout récent, l'équipe de Dragsted et al. [35] a également montré que la consommation de 600 g de fruits et légumes par jour permettait également d'augmenter de façon significative la concentration érythrocytaire de la glutathion peroxydase, enzyme antioxydante dont l'activité est liée à l'élimination des lipides oxydés.

Tableau 1  
Études interventionnelles ayant étudié la répercussion de fruits et légumes sur les taux plasmatiques en vitamine C et caroténoïdes

| Études                        | Effectif<br>H/F | Total      | Âge<br>(ans)                 | Tabac  | Intervention type apport en antioxydants (par jour)   | Concentrations sanguines   |   |  | p value                      |                             |                   |
|-------------------------------|-----------------|------------|------------------------------|--|---|--|---|--|------------------------------|-----------------------------|-------------------|
|                               |                 |            |                              |  |   | µg/l   | t0  | 2 mois                                       |                              | 3 mois                      |                   |
| Le Marchand et al., 1994 [11] | 12/7            | 19         | 63,6                         | Oui  | Conseils par un diététicien : augmentation de la consommation de fruits et légumes de 4,2 à 9,5 portions/j              | β-carotène : 4,3 à 9,9 mg<br>Lutéine : 1,6 à 5,1 mg<br>Lycopène : 2,4 à 13 mg<br>Vitamine C : 143 à 339 mg | µg/l  | t0   | 2 mois                       | 3 mois                      | 0,01              |
|                               |                 |            |                              |  |   |  |   | 461  | 663                          | 618                         | 0,002<br>p = 0,06 |
|                               |                 |            |                              |  |   |  |   | 291  | 413                          | 352                         |                   |
|                               |                 |            |                              |  |   |  |   | 199  | 255                          | 242                         |                   |
|                               |                 |            |                              |  |   | µg/ml  | t0  | 2 mois                                       | 3 mois                       | 0,001                       |                   |
|                               |                 |            |                              |  |   |  | 9,6   | 12,2   | 12,2                         |                             |                   |
| Rauma et al., 1995 [12]       | 0/40            | 40         | 46                           | Oui  | Comparaison entre végétariens et omnivores  | β-carotène<br>vég. 11,9 mg<br>Omniv. 4,3 mg  | vitamine C<br>183 mg<br>106 mg  | β-carotène<br>vég. 2,93 µM<br>Omniv. 1,11 µM | vitamine C<br>67 µM<br>58 µM | 0,001                       |                   |
|                               |                 |            |                              |  |   |  |   |  |                              | 0,001                       |                   |
| Yeun et al., 1996 [13]        | 9/9             | 18         | 20–40                        | Non  | Alimentation riche en caroténoïdes (expérience répétée trois fois avec intervalle de six semaines entre chaque période) | All - trans β-carotène : 6 mg ;<br>lutéine 2,3 mg  | All - trans β-carotène  |  |                              | 0,05                        |                   |
|                               |                 |            |                              |  |   |  |   | F (jeunes) : 0,8 µM→2,2 µM                   |                              | 0,05                        |                   |
|                               | 9/9             | 18         | 60–80                        | Non  |   |  |   | F (âgées) : 0,8 µM→2,2 µM                    |                              | 0,05                        |                   |
|                               |                 |            |                              |  |   |  |   | H (jeunes) : 0,4 µM→1,3 µM                   |                              | 0,05                        |                   |
|                               |                 |            | H (âgés) : 1,5 µM→2,2 µM     |  | 0,05  |  |   |  |                              |                             |                   |
|                               |                 |            | Lutéine                      |  | 0,05  |  |   |  |                              |                             |                   |
|                               |                 |            | F (jeunes) : 0,29 µM→0,34 µM |  | 0,05  |  |   |  |                              |                             |                   |
|                               |                 |            | F (âgées) : 0,25 µM→0,40 µM  |  | 0,05  |  |   |  |                              |                             |                   |
|                               |                 |            | H (jeunes) : 0,22 µM→0,33 µM |  | 0,05  |  |   |  |                              |                             |                   |
|                               |                 |            | H (vieux) : 0,37 µM→0,36 µM  |  | (effet additionnel du brocoli ± 20 %)   |  |   |  |                              |                             |                   |
|                               |                 |            |                              |  |   |  |   |  |                              |                             |                   |
| Hininger et al., 1997 [14]    | 11/11           | 22         | 25–45                        | Oui  | 150 g de carottes ; 200 g de tomates, haricots, chou et/ou épinards   | β-carotène : 10 mg<br>Lycopène : 10 mg<br>Lutéine : 10 mg  | β-carotène  | non-fumeur                                   | fumeur                       | 0,05                        |                   |
|                               |                 |            |                              |  |   |  |   | Début  | 0,95 µM                      |                             | 0,58 µM           |
|                               |                 |            |                              |  |   |  |   | Après 15 j                                   | 1,13 µM                      |                             | 0,82 µM           |
|                               |                 |            |                              |  |   |  |   | Lycopène                                     | non-fumeur                   |                             | fumeur            |
| Début                         | 0,61 µM         | 0,56 µM    |                              |  |   |  |   |  |                              |                             |                   |
|                               |                 | Après 15 j |                              | 0,61 µM  | 0,55 µM   |  |   |  |                              |                             |                   |
| Zino et al., 1997 [15]        | 62/25           | 87         | 18–69                        | Oui  | Groupe témoin : alimentation habituelle : 3 portions F et L   | 319 g de F et L<br>63 mg vitamine C<br>1,6 mg β-carotène   | Vitamine C : 25,55 à 25,55 µM   |  |                              | β-carotène : 0,34 à 0,32 µM |                   |
|                               |                 |            |                              |  |   |  | β-carotène : 0,34 à 0,32 µM   |  |                              |                             |                   |
|                               |                 |            |                              | Groupe intervention : passage à 8 portions de F et L |   | 1001 g de F et L<br>257 mg Vitamine C 4,68 mg β-carotène   |   | Vitamine C : 33,5 à 57,92 µM                 |                              | β-carotène : 0,34 à 0,52 µM |                   |
| Bulux et al., 1998 [16]       | 13/10           | 23         | 9                            | Non  | Ingestion d'un simple repas à base de carottes<br>En quantité faible (122 g)<br>En quantité importante (961 g)          | 12,4 mg β-carotène<br>97 mg β-carotène   | Valeur plasmatique en β-carotène plus augmentée en fonction de l'apport en carottes |  |                              |                             |                   |
|                               |                 |            |                              |  |   |  |   |  |                              |                             |                   |

(suite)

Tableau 1 (suite)

| Études                         | Effectif<br>H/F | Total | Âge<br>(ans) | Tabac | Intervention type apport en antioxydants (par jour)                     | Concentrations sanguines   |                                 |                                 |            | p value                            |          |        |
|--------------------------------|-----------------|-------|--------------|-------|---|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------|------------------------------------|----------|--------|
|                                |                 |       |              |       |   | (µM)                       | A                               | B                               | C          |                                    | D        |        |
| De Pee et al., 1998<br>[17]    | 104/84          | 188   | 7–11         | Non   | 4 groupes avec deux repas par jour, 6 jours par semaine                 | All- trans-β/cisβ/lyco/lut |                                 |                                 |            |                                    | 0,05     |        |
|                                |                 |       |              |       | A : groupe légumes (n = 45)   | 3,5                        | 0,6                             | 0,2                             | 5,9        | β-carotène +0,14 +0,52 +0,06 +0,03 |          |        |
|                                |                 |       |              |       | B. groupe fruit (n = 49)  | 2,3                        | 0,3                             | 4,8                             | 0,8        | Lutéine +0,31 +0,07 +0,07 +0,04    |          |        |
|                                |                 |       |              |       | C : groupe rétinol (n = 48)   | 0,2                        | < 0,1                           | 0,1                             | 0,2        | Lycop +0,01 +0,25 +0,02 +0,02      |          |        |
|                                |                 |       |              |       | D : groupe pauvre en rétinol et caroténoïdes (n = 46)                   | 0,2                        | < 0,1                           | 0,1                             | 0,2        | (valeur en mg)                     |          |        |
| Miller et al., 1998<br>[18]    | 66/57           | 123   | 48,5         | Oui   | A : 4 portions F et L (témoin)  | Pas d'information          |                                 | β-carotène                      | lutéine    | 0,05 vs A                          |          |        |
|                                |                 |       |              |       | B : 9 portions de F et L  |                            | B                               | +20 %                           | +35 %      |                                    |          |        |
|                                |                 |       |              |       | C : 10 portions de F et L avec diminution apport en graisses            |                            | C                               |                                 | +40 %      |                                    |          |        |
| McEligot et al., 1999<br>[19]  | 0/56            | 56    | 57,6         |       | Groupe témoin : 5 F et L/j  | 4,27→6,63 mg               | β-carotène                      |                                 |            | 0,05                               |          |        |
|                                |                 |       |              |       | Groupe intervention : 5 portions de L, 3 portions de F                  | 5,32→21,69 mg              | Début 0,844 µM ; 3 ans 0,943 µM | Début 0,748 µM ; 3 ans 1,391 µM |            |                                    |          |        |
| Thompson et al., 1999 [20]     | 0/28            | 28    | 27–80        |       | Passage de 5,8 à 12 portions de F et L                                  | Pas d'information          | (ng/ml)                         | β-car.                          | Lutéine    | lycopène                           | 0,001    |        |
| Broekmans et al., 2000 [21]    | 24–24           | 48    | 40–60        | Oui   | Groupe avec apport pauvre en F et L (100 g/j)                           | β-carotène : 0,63 mg       | Diminution de 6,7 µM            |                                 |            | 0,05                               |          |        |
|                                |                 |       |              |       | Groupe avec apport normal en F et L (500 g/j + 200 ml jus de fruit/j)   | Vitamine C : 65 mg         | Diminution de 0,02 µM           |                                 |            |                                    | 0,05     |        |
| Record et al., 2001 [22]       | 25/0            | 25    | 48,3         | Non   | Groupe A : ≤ 1 F et 2 L   | Pas d'information          |                                 | Groupe A                        | Groupe B   | p < 0,05                           |          |        |
|                                |                 |       |              |       | Groupe B : 5 à 7 portions de F et L                                     |                            | Vit. C                          | 29,9 µM                         | 47,1 µM    |                                    |          |        |
| Van den Berg et al., 2001 [23] | 22/0            | 22    | 19–49        | Oui   | Placebo (légumes + boisson)   | Vitamine C                 | β-carotène                      | Vitamine C : 41→37,6 µM         |            |                                    | 0,0001   |        |
|                                |                 |       |              |       | Intervention légumes et jus de fruits                                   | 0,83 mg                    | < 0,05                          | β-carotène : 0,30 →0,29 µM      |            |                                    |          | 0,0001 |
|                                |                 |       |              |       |   | 170,5 mg                   | 9 mg                            | Vitamine C : 41→57,6 µM         |            |                                    | 0,003    |        |
|                                |                 |       |              |       |   | Vitamine C                 | β-carotène                      | β-carotène : 0,30 →0,67 µM      |            |                                    |          | ns     |
|                                |                 |       |              |       |   | P1                         | 105 mg                          | 3 mg                            |            |                                    |          |        |
| Freese et al., 2002 [24]       | 20/57           | 77    | 19–52        | Oui   | P1 : riche en acide linoléique et pauvre en légumes (170 g)             | Vitamine C                 | β-carotène                      | Vitamine C                      | β-carotène | 0,0001                             |          |        |
|                                |                 |       |              |       | P2 : riche en acide linoléique et riche en légumes (815 g)              | P1                         | 105 mg                          | 3 mg                            | P1         | -0,1 µM                            | +0,08 µM | 0,0001 |
|                                |                 |       |              |       | M1 : riche en acide oléique et pauvre en légumes (170 g)                | P2                         | 333 mg                          | 10,1 mg                         | P2         | +2,6 µM                            | +0,64 µM |        |
|                                |                 |       |              |       | M2 : riche en acide oléique et riche en légumes (815 g) + groupe témoin | M1                         | 105 mg                          | 3 mg                            | M1         | +0,2 µM                            | +0,05 µM |        |
|                                |                 |       |              |       |   | M2                         | 333 mg                          | 10,1 mg                         | M2         | +3,0 µM                            | +0,47 µM |        |
|                                |                 |       |              |       |   | (valeur exprimée par MJ)   |                                 |                                 |            | Augmentation P2 et M2 vs P1 et P2  |          |        |

(suite)

Tableau 1 (suite)

| Études                           | Effectif H/F   | Total      | Âge (ans)    | Tabac | Intervention type apport en antioxydants (par jour)   |  | Concentrations sanguines                                    |  | p value            |
|----------------------------------|----------------|------------|--------------|-------|---|--|---|--|--------------------|
| John et al., 2002 [25]           | 338 H<br>352 F | 690        | 25–64        | Oui   | Groupe témoin : +0,1 portion de F et L/j<br>Groupe intervention : +1,4 portion de F et 3,4 portions de L  | Pas d'informations   |   | (µmol/l) intervention témoin   | < 0,05             |
|                                  |                |            |              |       |   |  |   | β-carotène : +0,001 -0,026   | < 0,005            |
|                                  |                |            |              |       |   |  |   | Vitamine C : +0,92 -0,99   | < 0,023            |
|                                  |                |            |              |       |   |  |   | Lutéine : +0,011 -0,007  | < 0,032            |
|                                  |                |            |              |       |   |  |   | Lycopène : -0,020 -0,010   | ns                 |
| Samman et al., 2003 [26]         | 32             | 32         | 18–50        | Oui   | Groupe placebo<br>Groupe intervention<br>2 capsules de suppléments concentrés en fruit<br>2 capsules de suppléments concentrés en légumes                                 | Caroténoïdes : 12 mg/j<br>Vitamine C : 200 mg/j              |   | Vitamine C : 68,2 → 72,1 µM<br>β-carotène : 0,40 → 0,24 µM<br>Vitamine C : 63,5 → 84,1 µM<br>β-carotène : 0,22 → 1,12 µM | < 0,002<br>< 0,001 |
| Stephoe et al., 2003 [27]        | 54–82<br>51–84 | 136<br>135 | 43,3<br>43,2 | Non   | Conseils sur le comportement alimentaire (groupe 1 ou G1)<br>Intervention nutritionnelle (groupe 2 ou G2)   |  | Vitamine C β-carotène                                       | *0,05  |                    |
|                                  |                |            |              |       |   |  | G1 75,6 → 71,6 µM 0,9 → 2,1 µM*                             |  |                    |
|                                  |                |            |              |       |   |  | G2 78 → 78,5 µM 0,9 → 1,9 µM*                               |  |                    |
| Bogers et al., 2004 [28]         | 0/157          | 157        | 29–50        | Non   | Groupe témoin<br>Groupe intervention : 200 g de L, 2 portions de F  | T0 T 1 mois  |   | 0,01   |                    |
|                                  |                |            |              |       |   |  | Vitamine C : 55,07 µM 61,54 µM                              | 0,01   |                    |
|                                  |                |            |              |       |   |  | β-carotène : 0,58 µM 0,64 µM                                |  |                    |
|                                  |                |            |              |       |   |  | (valeurs pour le groupe d'intervention)                     |  |                    |
| Briviba et al., 2004 [29]        | 22/0           | 22         | nc           | Non   | 2 semaines pauvres en caroténoïdes<br>2 semaines jus de tomates<br>2 semaines pauvres en caroténoïdes<br>2 semaines jus de carottes<br>2 semaines pauvres en caroténoïdes | 330–330 ml   |   | T0 T 1 mois  | *0,05              |
|                                  |                |            |              |       |   |  | Vitamine C : 55,07 µM 61,54 µM                              |  |                    |
|                                  |                |            |              |       |   |  | β-carotène : 0,58 µM 0,64 µM                                |  |                    |
|                                  |                |            |              |       |   |  | (valeurs pour le groupe d'intervention)                     |  |                    |
|                                  |                |            |              |       |   |  | Tomates Carottes<br>Lycopène β-carotène                     |  |                    |
|                                  |                |            |              |       |   |  | Avant 0,20 µM 0,23 µM                                       |  |                    |
|                                  |                |            |              |       |   |  | Après 0,46 µM 1,12 µM*                                      |  |                    |
| Riso et al., 2004 [30]           | 0/12           | 12         | 25,2         | Non   | Une semaine pauvre en caroténoïdes<br>3 semaines avec chaque jour un produit à base de tomates  | Lycopène : 8 mg<br>β-carotène : 0,5 mg<br>Vitamine C : 11 mg | j0 j21  | 0,05   |                    |
|                                  |                |            |              |       |   |  | 0,34 µM 0,52 µM   | 0,05   |                    |
|                                  |                |            |              |       |   |  | 39,2 µM 52,8 µM   |  |                    |
| Sanchez-Moreno et al., 2005 [31] | 6/6            | 12         | 22           | Non   | En plus de l'alimentation habituelle → 500 ml de soupe à base de légumes méditerranéens   | 78 mg de vitamine C<br>2,629 mg caroténoïdes                 | j0 j15  | 0,001  |                    |
|                                  |                |            |              |       |   |  | H 46 µM 57,9 µM   | 0,01   |                    |
|                                  |                |            |              |       |   |  | F 50,2 µM 61,2 µM   |  |                    |
|                                  |                |            |              |       |   |  | (valeur pour la vitamine C)                                 |  |                    |
| Agte et al., 2005 [32]           | 29/0           | 29         | 20–25        | nc    | 100 g légumes à feuilles vertes (LFV) accompagnés de 10 g d'huile   | Vitamine C : 22,9 mg<br>β-carotène : 2 mg                    | j0 j21  | 0,02   |                    |
|                                  |                |            |              |       |   |  | 0,32 mg/l 0,33 mg/l   | 0,03   |                    |
|                                  |                |            |              |       |   |  | 1,06 mg/l 1,59 mg/l   | 0,05   |                    |
|                                  |                |            |              |       |   |  | (effet nettement diminué si accompagnement par 5 g d'huile) |  |                    |

#### 4. Sources et biodisponibilité des antioxydants

Les Tableaux 2,3 reprennent les fruits et légumes qui sont les principales sources de vitamine C et de  $\beta$ -carotène. La concentration plasmatique de ces antioxydants dépendra de leur biodisponibilité, c'est-à-dire de la façon dont ils sont absorbés notamment au niveau gastro-intestinal. À titre d'exemple, une dose orale de 30 mg/j de vitamine C conduit à une biodisponibilité moyenne de 87 %. La biodisponibilité des caroténoïdes, et plus particulièrement du  $\beta$ -carotène, est en revanche nettement plus complexe car elle dépend de nombreux facteurs : matrice, maturité, conservation et processus culinaire de l'aliment, présence de lipides et de fibres dans le bol alimentaire [36]. Les données actuelles semblent indiquer que le taux maximum d'absorption des caroténoïdes en général est de l'ordre de 25 à 50 % de la dose administrée. Il faut aussi noter que l'absorption d'un caroténoïde peut avoir une influence négative sur la concentration plasmatique d'un autre caroténoïde. Ainsi, un apport seul en épinards pendant 21 jours (150 g/j, soit l'équivalent de 9 mg de lutéine et 4 mg de  $\beta$ -carotène) permet d'élever significativement le taux plasmatique en lutéine (facteur d'augmentation de 4,41) mais se traduit tou-

Tableau 2  
Teneur en vitamine C dans différents fruits et légumes

| Aliments                                     | Milligramme (mg) de vitamine C/100 g de poids frais |
|--|---|
| Acérola ou cerise des Indes occidentales     | 1745  |
| Baie d'églantier (cynorrhodon ou gratte-cul) | 1250  |
| Coriandre                                    | 570   |
| Piment rouge                                 | 370   |
| Goyave                                       | 275   |
| Piment vert                                  | 235   |
| Persil                                       | 140–200   |
| Cassis                                       | 130–220   |
| Choux de Bruxelles                           | 115   |
| Brocoli                                      | 60–110  |
| Chou vert                                    | 100   |
| Kiwi   | 100   |
| Fenouil                                      | 95  |
| Papaye                                       | 80  |
| Cresson                                      | 60  |
| Fraise, orange, citron                       | 55–65   |
| Mangue                                       | 40  |
| Pamplemousse                                 | 35  |
| Groseille, framboise                         | 30–35   |
| Ail  | 30  |
| Radis, épinard, tomate, myrtille             | 20–25   |
| Melon, mûre                                  | 15–20   |
| Pomme de terre (vieilles, nouvelles)         | 15–40   |
| Tomate                                       | 25  |
| Abricot, banane, cerise, raisin              | 10  |
| Pomme, poire, prune                          | 5   |
| Lait vache                                   | 0,5–5   |

Les apports journaliers recommandés (AJR) pour cet antioxydant varient entre 60 et 100 mg/j. Tableau élaboré par S. Voussure, service de diététique, CHU de Liège, à partir des données suivantes : table belge de composition des aliments Nubel (4<sup>e</sup> édition, juin 2004) ; site Internet [www.internubem.be](http://www.internubem.be) (2006) ; table de composition des aliments (institut Paul-Lambin, 2004) ; abécédaire de la nutrition fonctionnelle (Jacqueline Absolonne. Éditions de santé-EDS, 2003) ; l'alimentation antioxydante de Serge Rafal (Ed. Marabout, 2001).

tefois par une moins bonne biodisponibilité au niveau du lycopène (diminution de 65 %) [37].

#### 5. Cas particulier des flavonoïdes

Plusieurs études épidémiologiques dont la célèbre ZUT-PHEN Study aux Pays-Bas indiquent qu'il existe une association inverse entre la consommation d'aliments riches en polyphénols et l'incidence de cancers et de maladies cardiovasculaires [38]. Les polyphénols constituent en fait une importante famille d'antioxydants dans les plantes, les fruits et les légumes puisqu'elle comprend plus de six mille molécules. L'alimentation fournit environ 1 g de polyphénols par jour principalement par l'apport en fruits et en jus de fruits et, dans une moindre mesure, en légumes et en céréales. Les polyphénols peuvent se regrouper en deux grands groupes : les composés non flavonoïdes (acides phénoliques, lignans et stilbènes dont la molécule la plus connue est le resvératrol très abondant dans le raisin) et les composés flavonoïdes (flavones, flavanones, flavonols, isoflavonones, anthocyanines, proanthocyanidines et flavanols dont les plus importants représentants sont les catéchines du thé vert, du vin rouge et du chocolat).

Des études très récentes ont montré que plus le contenu en polyphénols dans les fruits et légumes était important, plus grande était la capacité antioxydante totale de ces aliments [39, 40]. Les fruits et légumes les plus riches en anthocyanines (fraises, framboises, prunes rouges) présentent généralement une capacité antioxydante totale plus importante que ceux riches en flavanones (orange, raisin) et en flavonols (oignon, épinards,

Tableau 3  
Teneur en  $\beta$ -carotène dans différents fruits et légumes

| Aliments                                      | Microgramme ( $\mu$ g) de $\beta$ -carotène/100 g de poids frais |
|---|--|
| Carottes en boîte                             | 8500   |
| Feuilles de pissenlit                         | 7900   |
| Carottes fraîches                             | 6400   |
| Carottes cuites au four à micro-ondes         | 5100   |
| Fenouil                                       | 4700   |
| Légumes pour couscous en boîte                | 4600   |
| Certaines préparations « snacks » céréalières | 3500   |
| Épinard haché                                 | 2950   |
| Boissons industrielles multifruits enrichies  | 2000   |
| Pamplemousse rouge                            | 1600   |
| Macédoine de légumes en boîte                 | 1565   |
| Haricots princesses                           | 1450   |
| Tomates en boîte                              | 1315   |
| Endives à tartiner et pour la cuisson         | 1000   |
|   | 850  |
| Bécel Dressing nature                         | 800  |
| Petits pois                                   | 475  |
| Abricots                                      | 440  |
| Pastèque                                      | 330  |
| Chou de Bruxelles                             | 260  |

Les apports journaliers conseillés (ANC) pour cet antioxydant sont de l'ordre de 4 à 6 mg/j. Tableau élaboré par S. Voussure, service de diététique, CHU de Liège, à partir des données suivantes : table belge de composition des aliments Nubel (4<sup>e</sup> édition, juin 2004) ; site Internet [www.internubem.be](http://www.internubem.be) (2006) ; table de composition des aliments (institut Paul-Lambin, 2004) ; abécédaire de la nutrition fonctionnelle (Jacqueline Absolonne. Éditions de santé-EDS, 2003) ; l'alimentation antioxydante de Serge Rafal (Ed. Marabout, 2001).



poireaux, chou vert) [41]. Dans une excellente revue sur le sujet, Scalbert et Williamson [42] indiquent que le contenu en polyphénols totaux de divers aliments mesuré par chromatographie suit l'ordre décroissant suivant : 50 g de cerises (276 mg) > à 200 g de pomme (239 mg) > à 200 ml de café (150 mg) > à 200 ml de thé vert (138 mg) > à 20 g de chocolat noir (102 mg) > à 125 ml de vin rouge (97 mg) > à 10 g de blé (50 mg) > à 200 g de pomme de terre (28 mg) > à 100 ml de jus d'orange (22 mg) > à 100 g de tomate, 100 g de laitue et 20 g d'oignon ( $\pm 9$  mg).

Récemment, le test standardisé ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) a été développé par des chercheurs en collaboration avec le Ministère de l'Agriculture américain dans le but d'évaluer la capacité antioxydante totale (principa-

Tableau 4  
Capacité antioxydante totale de plusieurs fruits et légumes mesurée par le test ORAC (*oxygen radical absorbance capacity*) et exprimée en unité ORAC ( $\mu\text{mol}$  eq TROLOX/100 g d'aliments frais)

| Aliments          | Valeur ORAC (unités/100 g d'aliment frais) |
|-------------------|--|
| Pruneau sec       | 5770                                       |
| Raisin sec        | 2830                                       |
| Myrtille          | 2400                                       |
| Cresson           | 2223                                       |
| Mûre              | 2036                                       |
| Ail               | 1939                                       |
| Airelle           | 1750                                       |
| Chou frisé        | 1700                                       |
| Fraise            | 1540                                       |
| Épinard           | 1260                                       |
| Framboise         | 1220                                       |
| Asperge           | 1200                                       |
| Chou de Bruxelles | 980  |
| Prune             | 949  |
| Luzerne           | 930  |
| Brocoli           | 890  |
| Betterave         | 840  |
| Avocat            | 782  |
| Orange            | 750  |
| Raisin rouge      | 739  |
| Poivron rouge     | 710  |
| Cerise            | 670  |
| Kiwi              | 602  |
| Pamplemousse      | 483  |
| Oignon rouge      | 450  |
| Haricot rouge     | 460  |
| Citrouille        | 404  |
| Maïs              | 400  |
| Aubergine         | 390  |
| Mangue            | 302  |
| Pomme de terre    | 301  |
| Chou vert         | 298  |
| Banane            | 221  |
| Pomme             | 218  |
| Carotte           | 207  |
| Tomate            | 189  |
| Abricot           | 164  |
| Pêche             | 162  |
| Poire             | 150  |
| Laitue            | 148  |
| Melon             | 148  |
| Concombre         | 65   |

Sources : Mc Bride High-ORAC foods  
[www.ars.usda.gov/is/pr/1999/990208.htm](http://www.ars.usda.gov/is/pr/1999/990208.htm) ; [43].

lement liée aux polyphénols), que représentent 100 g de divers fruits et légumes frais [43]. Les valeurs exprimées en unités ORAC sont reprises pour quelques aliments dans le Tableau 4. Les chercheurs de l'université de Tufts (États-Unis), qui sont à la base de la création du test ORAC, estime « qu'il faudrait se procurer 3000 à 5000 unités ORAC par jour pour espérer avoir un impact significatif sur la capacité antioxydante du plasma et des tissus ».

Les mécanismes par lesquels les polyphénols peuvent avoir des effets protecteurs sur la santé via une action antioxydante ne sont toutefois pas très clairs et cela en raison de la relative faible biodisponibilité de ces molécules [44]. L'ingestion de polyphénols en quantité ( $\pm 1$  g/j) se trouvant dans l'alimentation habituelle se traduit par une concentration plasmatique ne dépassant pas la quantité de  $1 \mu\text{M}$  en molécules appartenant aux divers sous-groupes des polyphénols décrits ci-dessus. Par rapport aux concentrations en vitamine C ( $60\text{--}80 \mu\text{M}$ ), en  $\alpha$ -tocophérol ( $5$  à  $36 \mu\text{M}$ ) et en  $\beta$ -carotène ( $1$  à  $3 \mu\text{M}$ ), la contribution des polyphénols en tant que telle à l'activité antioxydante totale du plasma serait donc plus que limitée. Comme le suggèrent toutefois Schalbert et Williamson [42], les molécules appartenant à la grande famille des polyphénols peuvent former *in vivo* divers métabolites qui pourraient contribuer à augmenter la capacité antioxydante totale du plasma. Les chercheurs du Linus Pauling Institute estiment plutôt que l'augmentation de la capacité antioxydante du plasma observée après l'ingestion de fruits est en fait due à l'effet métabolique bien connu du fructose sur la concentration d'acide urique (un puissant antioxydant) et qu'elle n'est donc aucunement liée à l'activité antioxydante des polyphénols [45,46]. Si les polyphénols peuvent exercer réellement un effet protecteur à de si faibles concentrations, c'est plus que probablement parce que la réponse doit être recherchée dans un effet antioxydant indirect conditionné à la sur- ou sous-expression de gènes codant pour diverses protéines impliquées dans la régulation du glucose (protéines gluconogéniques), des défenses antioxydantes (métallothionéines, glucose-6-phosphate déshydrogénase, glutathion peroxydase) et des effets pro-inflammatoires (interleukine  $1\text{-}\beta$ , métalloprotéinases) [47–51].

## 6. Influence de la consommation de fruits et légumes sur les marqueurs d'oxydation

Dans des expériences sur des cellules, des extraits de fruits dont le kiwi sont capables de protéger l'ADN contre une oxydation induite par du peroxyde d'hydrogène [52]. Toutefois, la plupart des études *in vivo* [14,18,23,24,29,30,33,53] montrent que la consommation en fruits et légumes chez des sujets en bonne santé n'entraîne pas de façon significative une diminution des dommages oxydatifs au niveau des lipides ou de l'ADN. Ces résultats sont évidemment décevants puisque cela est en contradiction avec le fait que la concentration plasmatique en antioxydants est augmentée après un apport interventionnel en fruits et légumes. Plusieurs explications peuvent être avancées pour expliquer cette contradiction.

### 6.1. Choix des marqueurs d'oxydation

Sanchez-Moreno et al. [31] ont montré tout récemment qu'un apport additionnel de 500 ml de soupe de type méditerranéenne, en plus de l'alimentation habituelle, permettait de réduire significativement d'environ 50 % la concentration urinaire en isoprostanes, un marqueur plus fiable de l'oxydation des lipides que ne l'est le malonaldéhyde (MDA). Au niveau de l'oxydation de l'ADN, les résultats sont également contradictoires. Thompson et al. [20] montrent une diminution significative du taux de 8OHdG (base oxydée de l'ADN) dans les lymphocytes et les urines de 28 femmes ayant augmenté leur consommation de fruits et légumes de 5,8 à 12 portions par jour. En revanche, Möller et al. [54] ne confirment pas ces résultats dans une étude randomisée portant sur 43 sujets en bonne santé consommant 600 g de fruits et légumes par jour pendant quatre semaines.

### 6.2. Type de populations étudiées

La plupart des études d'intervention avec des fruits et légumes ont été faites sur des sujets en bonne santé dont le statut antioxydant sanguin ne présente pas d'anomalies majeures. Cette constatation explique sans doute l'absence d'effet observé. Chez des fumeurs, qui sont bien connus pour avoir un statut de stress oxydant augmenté, aucun résultat probant n'a toutefois été enregistré [23].

### 6.3. Moment de la prise de sang

Möller et al. [54] ont avancé l'hypothèse que l'évaluation de ces marqueurs sur base d'une prise de sang faite à jeun peut expliquer cette absence d'effet. Ces auteurs s'appuient sur certaines études, montrant que s'il y a diminution des dommages oxydatifs, celle-ci n'est observée seulement que dans les quelques heures qui suivent l'absorption de fruits ou de légumes. À titre d'exemple, l'absorption d'oignons provoque après quatre heures une augmentation maximale et significative de la concentration plasmatique en flavonoïdes (quercétine-3-glucoside, isorhamnétine-4-glucoside) qui est associée avec une diminution maximale de la concentration urinaire 8OHdG [55]. En revanche, sur un traitement de longue durée, aucun effet n'est observé sur l'oxydation des lipides [56].

## 7. Conclusion

Les fruits et légumes sont bons pour la santé car ils regorgent de nombreux micronutriments : vitamines, minéraux et oligo-éléments. Ils sont également notre source principale d'antioxydants qui protègent notre organisme contre les effets délétères de l'oxygène. Il n'est pas utile de rappeler que ces aliments ne présentent pas par hasard un éventail aussi large de couleurs. Cette diversité s'explique en fait par la présence de pigments (caroténoïdes, flavonoïdes) à forte activité antioxydante que ces aliments ont développé pour se prémunir des effets secondaires de la photosynthèse liés à une production

importante de dérivés toxiques de l'oxygène ou de radicaux libres. Manger coloré, c'est donc manger antioxydant. Les fibres contenues dans les fruits et légumes jouent également un rôle important puisqu'elles améliorent notamment le transit intestinal, et donc indirectement l'absorption optimale des molécules antioxydantes. Enfin, il faut aussi tenir compte du fait que les fruits et légumes sont riches en folates qui régulent la concentration plasmatique en homocystéine [57] qui représente un facteur de risque cardiovasculaire indépendant du cholestérol.

Actuellement, il semble bien admis que manger un minimum de cinq portions de fruits et légumes par jour (600 g) a réellement un impact sur la santé puisque cela contribue à diminuer l'incidence du cancer et des maladies cardiovasculaires, mais aussi à améliorer divers symptômes cliniques [58]. Les mécanismes d'action sont toutefois encore peu précis. La présente revue montre qu'il existe une dualité entre des résultats positifs (augmentation des antioxydants) et négatifs (absence de diminution des marqueurs des dommages oxydatifs). Il apparaît aussi qu'il convient de définir exactement à quoi correspondent ces fameuses cinq portions de fruits et légumes en termes de quantité, de choix et de variabilité de ces aliments. Il y a là incontestablement un gros effort de communication à réaliser auprès du consommateur. Ceci est d'autant plus important qu'il est bon de rappeler que, tant en Belgique [59] qu'en France, la consommation en fruits et légumes apparaît comme globalement insuffisante et cela plus particulièrement chez les hommes et les enfants. Des programmes nationaux nutrition-santé (PNNS) et régionaux (département Santé de la province de Liège) viennent d'être mis en place dans ces deux pays [10] pour promouvoir la consommation de fruits et légumes.

## Références

- [1] Vincent-Baudry S, Defoort C, Gerber M, Bernard MC, Verger P, Helal O, et al. The medi-RIVAGE study: reduction of cardiovascular disease risk factors after a 3-mo intervention with a Mediterranean-type diet or a low-fat diet. *Am J Clin Nutr* 2005;82:964–71.
- [2] Tucker KL, Hallfrish J, Qiao N, Muller D, Andres R, Fleg JL, Baltimore Longitudinal Study of Aging. The combination of high fruit and vegetable and low saturated fat intakes is more protective against mortality in men than is either alone: the Baltimore Longitudinal Study of Aging. *J Nutr* 2005;135:556–61.
- [3] Gandini S, Merzenich H, Robertson C, Boyle P. Meta-analysis of studies on breast cancer risk and diet: the role of fruit and vegetable consumption and the intake of associated micronutrients. *Eur J Cancer* 2000;36: 636–46.
- [4] Lunet N, Lacerda-Viera A, Barros H. Fruit and vegetables consumption and gastric cancer: a systematic review and meta-analysis of cohort studies. *Nutr Cancer* 2005;53:1–10.
- [5] Smith-Warner SA, Spiegelman D, Yaun SS, Adami HO, Beeson WL, van den Brandt PA, et al. Intake of fruits and vegetables and risk of breast cancer: a pooled analysis of cohort studies. *JAMA* 2001;285: 769–76.
- [6] Pavia M, Pileggi C, Nobile CG, Angelillo IF. Association between fruit and vegetable consumption and oral cancer: a meta-analysis of observational studies. *Am J Clin Nutr* 2006;83:1126–34.
- [7] Fralay AE, Tsimikas S. Clinical applications of circulating oxidized low-density lipoprotein biomarkers in cardiovascular disease. *Curr Opin Lipidol* 2006;17:502–9.



- [8] Cox DN, Anderson AS, Reynolds J, McKellar S, Lean ME, Mela DJ. Take five, a nutrition education program intervention to increase fruit and vegetable intakes: impact on consumer choice and nutrient intakes. *Br J Nutr* 1998;80:123–31.
- [9] Danish Veterinary and Food Administration. Fruits and vegetables — recommendations for intake. Copenhagen: The Danish Ministry of Food, Agriculture and Fisheries; 1998.
- [10] Programme national nutrition-santé (PNNS). France 2001 et Belgique 2006.
- [11] Le Marchand L, Hankin JH, Carter S, Essling C, Luffey D, Franke A, et al. A pilot study on the use of plasma carotenoids and ascorbic acid as markers of compliance to high fruit and vegetable dietary intervention. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 1994;3:245–51.
- [12] Rauma AL, Törrönen R, Hänninen O, Verhagen H, Mykkänen H. Antioxidant status in long-term adherents to a strict uncooked vegan diet. *Am J Clin Nutr* 1995;62:1221–7.
- [13] Yeum KJ, Booth SL, Sadowski JA, Liu C, Tang G, Krinsky N, et al. Human plasma carotenoid response to the ingestion of controlled diets high in fruits and vegetables. *Am J Clin Nutr* 1996;64:594–602.
- [14] Hininger I, Chopra M, Thurnham D, Laporte F, Richard MJ, Favier A, et al. Effect of increased fruit and vegetable intake on the susceptibility of lipoprotein to oxidation in smokers. *Eur J Clin Nutr* 1997;51:601–6.
- [15] Zino S, Skeaff M, Williams S, Mann J. Randomised controlled trial of effect of fruit and vegetable consumption on plasma concentrations of lipids and antioxidants. *BMJ* 1997;314:1787–91.
- [16] Bulux J, de Serrano Q, Perez R, Rivera C, Solomos N. The plasma  $\beta$ -carotene response to a single meal carrots in Guatemala schoolchildren. *Int J Food Sci Nutr* 1998;49:173–9.
- [17] de Pee S, West CE, Permaesih D, Martuti S, Hautvast J. Orange fruit is more effective than are dark-green, leafy vegetables in increasing serum concentrations of retinol and  $\beta$ -carotene in schoolchildren in Indonesia. *Am J Clin Nutr* 1998;68:1058–67.
- [18] Miller ER, Appel LJ, Risby TH. Effect of dietary patterns on measures of lipid peroxidation results from a randomised clinical trial. *Circulation* 1998;98:2390–5.
- [19] McEligot AJ, Rock CL, Flatt SW, Newman V, Ferber S, Pierce JP. Plasma carotenoids are biomarkers of long-term high vegetable intake in women with breast cancer. *J Nutr* 1999;129:2258–63.
- [20] Thompson HJ, Heimendinger J, Haegele A, Sedlacek SM, Gillette C, O'Neill C, et al. Effect of increase vegetable and fruit consumption on markers of oxidative cellular damage. *Carcinogenesis* 1999;20:2261–6.
- [21] Broekmans WM, Klopping-Ketelaars IA, Schuurman CR, Verhagen H, van den Berg H, Kok FJ, van Poppel G. Fruits and vegetables increase plasma carotenoids and vitamin C and decrease homocysteine in humans. *J Nutr* 2000;130:1578–83.
- [22] Record IR, Dreosti IE, MCInervey JK. Changes in plasma antioxidant status following consumption of diets high or low in fruit and vegetables or following dietary supplementation with an antioxidant mixture. *Br J Nutr* 2001;85:459–64.
- [23] van den Berg R, van Vliet T, Broekmans W, Cnubben N, Vaes W, Roza L, et al. A vegetable-fruit concentrate with high antioxidant capacity has no effect on biomarkers of antioxidant status in male smokers. *J Nutr* 2001;131:1714–22.
- [24] Freese R, Alftan G, Jaujjainen M, Basu S, Erlund I, Salminen I, et al. High intakes of vegetables, berries, and apples combined with a high intake of linoleic or oleic only slightly affect markers of lipid peroxidation and lipoprotein metabolism in healthy subjects. *Am J Clin Nutr* 2002;76:950–60.
- [25] John JH, Ziebland S, Yudkin P, Roe LS, Neil H. Effects of fruit and vegetable consumption on plasma antioxidant concentrations and blood pressure: a randomised controlled trial. *Lancet* 2002;359:1969–74.
- [26] Samman S, Sivarajah G, Man J, Ahmad Z, Petocz P, Caterson I, et al. A mixed fruit and vegetable concentrate increases plasma antioxidant vitamins and folate and lowers plasma homocysteine in men. *J Nutr* 2003;133:2188–93.
- [27] Steptoe A, Perkins-Porras L, McKay C, Rink E, Hilton S, Cappuccio F. Behavioural counselling to increase consumption of fruit and vegetables in low income adults: randomised trial. *BMJ* 2003;326:855–61.
- [28] Bogers RP, van Assema P, Kester AD, Westerterp KR, Dagnelie PC. Reproducibility, validity, and responsiveness to change of a short questionnaire for measuring fruit and vegetable intake. *Am J Epidemiol* 2004;159:900–9.
- [29] Briviba K, Schnäbele K, Rechkemmer G. Supplementation of a diet low in carotenoids with tomato or carrot juice does not affect lipid peroxidation in plasma and feces of healthy men. *J Nutr* 2004;134:1081–3.
- [30] Riso P, Visioli F, Erba D, Testolin G, Porrini M. Lycopene and vitamin C concentration increase in plasma and lymphocyte after tomato intake. Effects on cellular antioxidant protection. *Eur J Clin Nutr* 2004;58:1350–8.
- [31] Sanchez-Moreno C, Cano M, de Ancos B, Plaza L, Olmedilla B, Granada F, Martin A. Mediterranean vegetable soup consumption increases plasma vitamin C and decreases F(2)-isoprostanes, prostaglandin E(2) and monocyte chemotactic protein-1 in healthy humans. *J Nutr Biochem* 2006;17:183–9.
- [32] Agte V, Jahagirdar M, Chiplonkar S. Green leaf vegetables (GLV) supplements increased plasma  $\beta$ -carotene, vitamin C, zinc and hemoglobin in young healthy adults. *Eur J Nutr* 2005;45:29–36.
- [33] Dragsted LO, Krath B, Ravn-Haren G, Vogel UB, Vinggaard AM, Bo Jensen P, et al. Biological effects of fruits and vegetables. *Proc Nutr Soc* 2006;65:61–7.
- [34] Gey F. Vitamins E plus C and interacting conutrients required for optimal health. *Biofactors* 1998;7:113–74.
- [35] Dragsted LO, Krath B, Ravn-Haren G, Vogel UB, Vinggaard AM, Bo Jensen P, et al. Biological effects of fruits and vegetables. *Proc Nutr Soc* 2006;65:61–7.
- [36] Sthal W, Sies H. Uptake of lycopene and its geometrical isomers is greater from heat-processed than from unprocessed tomato juice in humans. *J Nutr* 1992;122:2161–6.
- [37] Riso P, Brusamolino A, Scalfi L, Porrini M. Bioavailability of carotenoids from spinach and tomatoes. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 2004;14:150–6.
- [38] Hertog MGL, Feskens EJM, Hollman PCH, Katan MB, Kromhout D. Dietary antioxidant flavonoids and risk of coronary heart disease: the Zutphen Elderly Study. *Lancet* 1993;342:1007–11.
- [39] Ou B, Huang D, Hampsh-Woodill M, Flanagan JA, Deemer EK. Analysis of antioxidant activities of common vegetables employing oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays: a comparative study. *J Agric Food Chem* 2002;50:3122–8.
- [40] Stratil P, Klejdus B, Kuban V. Determination of total content of phenolic compounds and their antioxidant activity in vegetables — evaluation of spectrophotometric methods. *J Agric Food Chem* 2006;54:607–16.
- [41] Proteggente AR, Pannala AS, Paganga G, Van Buren L, Wagner E, Wiseman S, et al. The antioxidant activity of regularly consumed fruit and vegetables reflect their phenolic and vitamin C composition. *Free Radic Res* 2002;36:217–33.
- [42] Schalbert A, Williamson G. Dietary intake and bioavailability of polyphenols. *J Nutr* 2000;130:2073S–2085S.
- [43] Wu X, Beecher GR, Holden JM, Haytowitz DB, Gebhardt SE, Prior RL. Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. *J Agric Food Chem* 2004;52:4026–37.
- [44] Spencer JP, Schroeter H, Rechner AR, Rice-Evans C. Bioavailability of flavan-3-ols and procyanidins: gastrointestinal tract influences and their relevance to bioactive forms in vivo. *Antioxid Redox Signal* 2001;3:1023–39.
- [45] Lotito SB, Frei B. Relevance of apple polyphenols as antioxidants in human plasma: contrasting in vitro and in vivo effects. *Free Radic Biol Med* 2004;36:201–11.
- [46] Lotito SB, Frei B. The increase in human plasma antioxidant capacity after apple consumption is due to their metabolic effect of fructose on urate, not apple-derived antioxidant flavonoids. *Free Radic Biol Med* 2004;37:251–8.
- [47] Shay NF, Banz WJ. Regulation of gene transcription by botanicals: novel regulatory mechanisms. *Annu Rev Nutr* 2005;25:297–315.
- [48] Chung MJ, Kang AY, Lee KM, Oh E, Jun HJ, Kim SY, et al. Water-soluble genistin glycoside isoflavones up-regulate antioxidant methallo-

- thionein expression and scavenge free radicals. *J Agric Food Chem* 2006; 54:3819–26.
- [49] Suzuki K, Koike H, Matsui H, Ono Y, Hasumi M, Nakazato H, et al. Genistein, a soy isoflavone, induces glutathione peroxidase in the human prostate cancer cell lines LNCaP and PC-3. *Int J Cancer* 2002; 99:846–52.
- [50] Koyama Y, Abe K, Sano Y, Ishizaki Y, Njelekela M, Shoji Y, et al. Effects of green tea on gene expression of hepatic gluconeogenic enzymes in vivo. *Planta Med* 2004;70:1100–2.
- [51] Ahmed S, Wang N, Lalonde M, Goldberg VM, Haqqi TM. Green tea polyphenol epigallocatechin-3-gallate (EGCG) differentially inhibits interleukin-1 beta-induced expression of matrix metalloproteinase-1 and-13 in human chondrocytes. *J Pharmacol Exp Ther* 2004;308:767–73.
- [52] Collins BH, Horska A, Hotten PM, Riddoch C, Collins AR. Kiwi fruit protects against oxidative DNA damage in human cells and in vitro. *Nutr Cancer* 2001;39:148–53.
- [53] Paterson E, Gordon MH, Niwat C, George TW, Parr L, Waroonphan S, et al. Supplementation with fruit and vegetable soups and beverages increases plasma carotenoid concentrations but does not alter markers of oxidative stress or cardiovascular risk factors. *J Nutr* 2006;136:2849–55.
- [54] Möller P, Vogel U, Pedersen A, Dragsted LO, Sandström B, Loft S. No effect of 600 grams fruit and vegetables per day on oxidative stress DNA damage and repair in healthy non-smokers. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 2003;12:1016–22.
- [55] Boyle SP, Dobson VL, Duthie SJ, Kyle JA, Collins AR. Absorption and DNA protective effects of flavonoid glycosides from an onion meal. *Eur J Nutr* 2000;39:213–23.
- [56] O'Reilly JD, Mallet AI, McAnlis GT, Young IS, Halliwell B, Sanders TA, et al. Consumption of flavonoids in onions and black tea: lack of effect on F2-isoprostanes and autoantibodies to oxidized LDL in healthy humans. *Am J Clin Nutr* 2001;73:1040–4.
- [57] Broekmans W, Klöpping-Ketelaars I, Schuurman C, Verhagen H, van den Berg H, Jok F, et al. Fruits and vegetables increase plasma carotenoids and vitamins and decrease homocysteine in humans. *J Nutr* 2000; 130:1578–83.
- [58] The health benefits of fruits and vegetables. A scientific overview for health professionals. Site Internet: Produce for Better Health Foundation [www.5aday.com](http://www.5aday.com).
- [59] Pincemail J, Degruene F, Vanbelle S, Voussure S, Cheramy-Bien JP, Albert A. Intake of fruits and vegetables in men and women aged 40–60 years from the ELAN (Étude Liégeoise sur les antioxydants) study in the Province of Liege, Belgium. 2nd International Congress on Nutrition, Dijon 2007.