



De nouvelles données confirment la supériorité nutritionnelle des aliments biologiques d'origine végétale

Par Charles Benbrook, Xin Zhao, Jaime Yáñez, Neal Davies et Preston Andrews

Mars 2008

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	B

The Organic Center – Rapport sur un enjeu important
Mars 2008
Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques

Table des matières

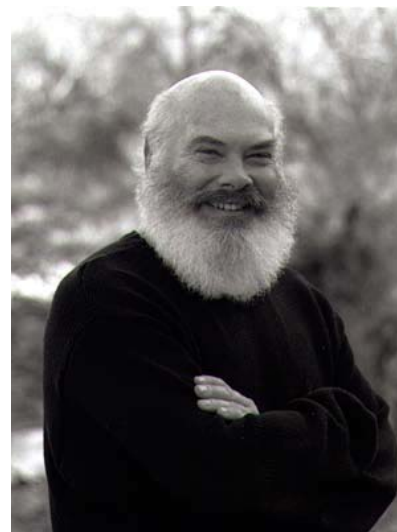
Avant-propos	1
I. Résumé.....	1
II. Importance de la valeur nutritive.....	6
A. Le côté sombre de l'alimentation des Américains	7
B. Physiologie végétale et densité nutritionnelle	10
C. Deux questions fondamentales	13
D. Mises en garde importantes.....	15
III. Survol des études publiées et des analyses documentaires comparant la valeur nutritive des aliments biologiques et des aliments conventionnels	17
A. Études publiées comparant la valeur nutritive des aliments conventionnels et des aliments biologiques.....	17
B. Rapports de synthèse évaluant les études de la qualité des aliments biologiques	18
C. Questions d'ordre méthodologique liées à la comparaison des valeurs nutritives des aliments biologiques et des aliments conventionnels	22
A. Méthode de tri fondée sur les aspects agronomiques et le dispositif expérimental	27
B. Méthode de tri fondée sur les méthodes d'analyse.....	31
C. Valeurs aberrantes	35
D. Critères de sélection des paires appariées d'une étude aux fins d'inclusion dans des analyses inter-études	35
V. Différences de valeur nutritive entre les aliments de culture biologique et ceux de culture conventionnelle	39
A. Comparaisons de la densité nutritionnelle des paires appariées valides.....	39
B. Conclusions	45
Annexe 1. Bibliographie des études utilisées pour la sélection des paires appariées....	46
Bibliographie.....	52

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	1

Avant-propos

Par Andrew Weil, M.D.

L'acquisition d'un mode de vie sain exige d'être informé et d'avoir la motivation nécessaire pour mettre cette information en pratique. Nos choix quotidiens en matière d'alimentation, d'activité physique et de gestion du stress, par exemple, ont tous une incidence sur la façon dont nous nous sentirons demain et sur les risques pour la santé auxquels nous serons exposés plus tard dans la vie. Ce sont nos choix individuels et collectifs qui déterminent dans quelle mesure nous vieillirons avec grâce.



Il est essentiel d'adopter et de conserver de saines habitudes. Un conseil pratique que je donne souvent consiste à passer davantage de temps en compagnie de personnes qui ont de telles habitudes. Si vous souhaitez améliorer votre alimentation, mangez avec des gens qui ont pour habitude de faire des choix alimentaires sains. Bien se nourrir est l'un des fondements de la bonne santé. Cela peut vous aider à bien vous sentir, vous fournir l'énergie dont vous avez besoin pour faire face aux maux de tous les jours, de la grippe au manque de sommeil. À long terme, une bonne alimentation vous aidera à réduire les risques de maladies chroniques liées au vieillissement et à en retarder l'apparition.

Depuis des années, j'encourage les gens à inclure plusieurs portions de fruits et de légumes biologiques frais dans leur alimentation quotidienne et à choisir des produits qui couvrent tout le spectre des couleurs. Les preuves médicales établissant un lien entre la consommation de fruits et de légumes d'une part, et la bonne santé d'autre part sont indéniables. Et il en va maintenant de même des nouvelles données permettant d'affirmer que les fruits et les légumes biologiques renferment davantage de nutriments par portion moyenne, y compris les phytonutriments protecteurs très importants comme les polyphénols et les pigments antioxydants.

Prendre l'habitude de choisir des aliments biologiques chaque fois que vous le pouvez fera en sorte que vous-mêmes et les membres de votre famille jouirez des bienfaits nutritionnels que prodigue la nature. Il s'agit d'un élément essentiel sur lequel fonder un mode de vie qui favorisera et maintiendra la santé tout au long de la vie.

Andrew Weil, M.D.
Membre du conseil, The Organic Center
Directeur du Program in Integrative Medicine
University of Arizona
Mars 2008

I. Résumé

« Nous ne le savons tout simplement pas [...] » ou

« Il n'existe pas suffisamment de données de grande qualité pour tirer des conclusions ». Voilà les réponses généralement fournies au cours des quelques dernières années par les nutritionnistes et les scientifiques agricoles auxquels a été posée la question que bien des consommateurs se posent eux-mêmes, à savoir : « Les aliments biologiques sont-ils davantage nutritifs? »

En fait, cette sorte de réponse ambivalente reflète précisément, pour la plupart, les principales conclusions rapportées dans cinq analyses documentaires scientifiques d'études comparant la valeur nutritive des aliments biologiques à celle des aliments conventionnels. Ces analyses ont toutes été publiées entre 2001 et 2003. La plus récente, parue en 2003, traite des études comparatives menées jusqu'à la fin de 2001.

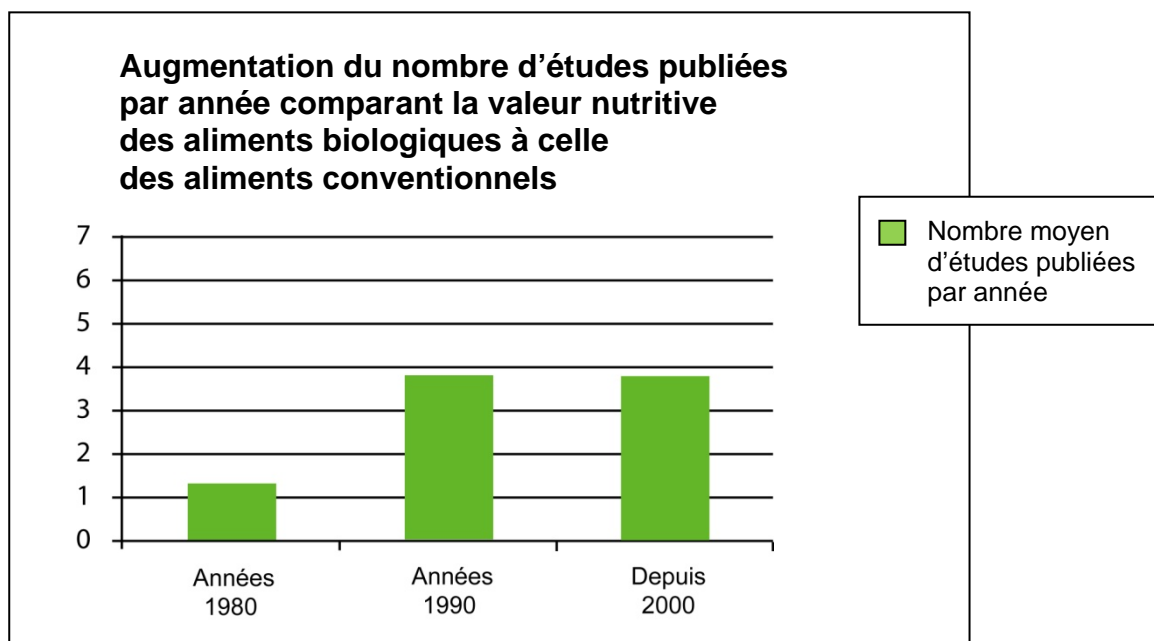
Depuis 2001, plus de 40 nouvelles études ont été publiées, ce qui porte à plus de

100 le nombre d'études à comité de lecture comparant la valeur nutritive des aliments biologiques à celle des aliments conventionnels. La figure 1 montre l'augmentation constante du nombre d'études publiées par année au cours des trois dernières décennies.

Non seulement le nombre d'études a-t-il doublé depuis 2000, mais leur qualité s'est aussi immensément accrue, comme s'est accrue la précision des méthodes d'analyse utilisées pour mesurer la teneur nutritive des aliments.

La plupart des études réalisées dans les années 1980 portaient simplement sur les teneurs en minéraux et en vitamines, alors que presque toutes celles publiées depuis 2000 comportent des mesures des teneurs en minéraux et en vitamines, de la teneur en polyphénols favorisant la santé et de la capacité antioxydante totale.

Figure 1.



The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	2

Un regard neuf

Nous avons relevé toutes les études à comité de lecture publiées dans les ouvrages scientifiques depuis 1980 comparant la valeur nutritive des aliments biologiques et conventionnels et les avons soumises à deux méthodes de tri aux fins de validation scientifique. Nous avons examiné comment les auteurs de ces études ont défini et sélectionné les cultures biologiques et conventionnelles aux fins de comparaison des valeurs nutritives. À partir de 97 études publiées, nous avons relevé 236 « paires appariées » de mesures scientifiquement valides qui comportent chacune un échantillon biologique et un échantillon conventionnel d'un aliment donné.

Notre première méthode de tri prenait en compte le dispositif expérimental de chaque étude, la nécessité de planter les mêmes cultivars dans les champs de culture biologique et conventionnelle, le degré de différences dans les types de sol et la topographie, le but de l'étude et l'endroit où elle a été réalisée, la définition de l'agriculture biologique adoptée et le nombre d'années durant lesquelles le champ de culture biologique d'une paire appariée a été géré de manière biologique.

Pour chaque culture visée par une étude donnée, nous avons déterminé si l'étude en question était de « qualité supérieure », « acceptable » ou « non valide » en fonction de critères d'inclusion et d'exclusion

explicites et d'un système de notation. Les critères ont été choisis pour nous aider à limiter notre analyse des teneurs en éléments nutritifs portant sur de multiples études aux seules expériences ayant produit des données de qualité supérieure. Nous croyons que notre méthode de tri nous a permis d'atteindre cet objectif et reconnaissons aussi qu'il existe de nombreuses autres manières d'arriver au même résultat.

Les 97 études couvraient 135 combinaisons étude-culture. En nous fondant sur notre méthode de tri, nous avons établi que 70 % de ces combinaisons étaient « acceptables » ou de « qualité supérieure » (94 des 135 études), et donc « valides », et que 41 d'entre elles étaient « non valides » aux fins de la présente étude.

Nous avons aussi procédé au tri des 94 combinaisons étude-culture valides pour vérifier la précision et la fiabilité des méthodes d'analyse utilisées pour mesurer les teneurs en éléments nutritifs. Ce tri a pris en compte la résolution de base, les écarts-types et la fiabilité des chromatographies et autres techniques de mesure. Cinquante-cinq combinaisons étude-culture-méthode d'analyse ont été jugées « non valides » pour la mesure d'un nutriment précis. (Les autres mesures de teneur nutritionnelle provenant de la même combinaison étude-culture ont été jugées valides).



The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	3

Nous avons aussi établis 17 critères et règles de décision pour la sélection des paires appariées les mieux appropriées à partir d'une étude donnée à inclure dans nos comparaisons inter-études des teneurs en éléments nutritifs. Nous avons besoin de ces critères parce que certaines études font état de résultats pour une douzaine ou plus de combinaisons différentes de systèmes de production autres, de taux variables d'engrais, de dates de récolte différentes et de formulation de produits alimentaires autres (c.-à-d., produits frais, séchés, congelés ou en purée).

Nous avons utilisé ces 17 règles de décision pour sélectionner les paires appariées à partir d'une combinaison étude-culture donnée qui reflétait le mieux les aliments frais cultivés selon des pratiques biologiques ou conventionnelles habituelles.

Grâce à ces méthodes de tri et critères de sélection, nous avons obtenu un nombre adéquat de paires appariées valides (au moins huit) permettant de comparer la teneur de onze nutriments présents dans les aliments biologiques et conventionnels. Parmi les nutriments visés, citons :

- quatre mesures d'antioxydants (composés phénoliques totaux, capacité antioxydante totale, quercétine, kaempférol);
- trois précurseurs des principales vitamines (vitamines A, C et E);
- deux minéraux (potassium et phosphore);
- nitrates (des taux élevés présentent un désavantage sur le plan nutritionnel);
- protéines totales.

Principales conclusions

Nous avons relevé 236 paires appariées valides pour les onze nutriments en question. Les aliments biologiques présentaient une valeur nutritive supérieure dans 145 paires appariées, soit dans 61 % des cas, alors que les aliments conventionnels présentaient une densité nutritionnelle supérieure dans 87 paires appariées, soit dans 37 % des cas. Nous n'avons constaté aucune différence pour 2 % des paires appariées.

Les échantillons biologiques renfermaient des concentrations supérieures de polyphénols et d'antioxydants, très importants, dans les trois quarts environ des 59 paires appariées correspondant à ces quatre phytonutriments. Il est essentiel à l'amélioration de la santé publique de se donner pour objectif d'accroître l'apport quotidien d'antioxydants et de polyphénols, actuellement inférieur à la moitié des teneurs recommandées.

Les paires appariées utilisées pour la comparaison des teneurs en potassium, en phosphore et en protéines totales comptaient pour plus des trois quarts de ces 87 cas pour lesquels les échantillons conventionnels étaient supérieurs sur le plan nutritionnel. Bien qu'il s'agisse d'un résultat positif, il va de soi que ces trois nutriments ont une importance moindre que les huit autres car ils se trouvent généralement en quantité suffisante dans l'alimentation ordinaire des Américains.

L'ampleur des différences dans les teneurs en éléments nutritifs jouent fortement en faveur des échantillons biologiques. Un quart des paires appariées pour lesquelles les aliments biologiques présentaient des teneurs en éléments nutritifs supérieures dépassait de 31 % ou plus la teneur en éléments nutritifs de l'échantillon conventionnel. Six pour cent seulement des paires appariées pour lesquelles l'échantillon conventionnel présentait une densité nutritionnelle supérieure excédaient les taux observés dans les échantillons biologiques de 31 % ou plus.



La figure 2 indique, pour cinq nutriments, le pourcentage de paires appariées totales pour lesquelles la valeur nutritive de l'échantillon biologique dépassait de 11 % ou plus celle de l'échantillon conventionnel. Presque la moitié des 57 échantillons biologiques de ces paires appariées présentaient une valeur nutritive supérieure de 21 % ou plus à celle des échantillons conventionnels.

Un autre fait corrobore cette observation fondamentale. Environ 22 % des 145 paires appariées pour lesquelles les échantillons biologiques ont une densité nutritionnelle supérieure présentent une différence de 0 % à 10 % seulement, différence qui peut être qualifiée de mineure. Presque les deux tiers des paires appariées conventionnelles ayant une densité nutritionnelle supérieure présentent une différence de l'ordre de 0 % à 10 %.

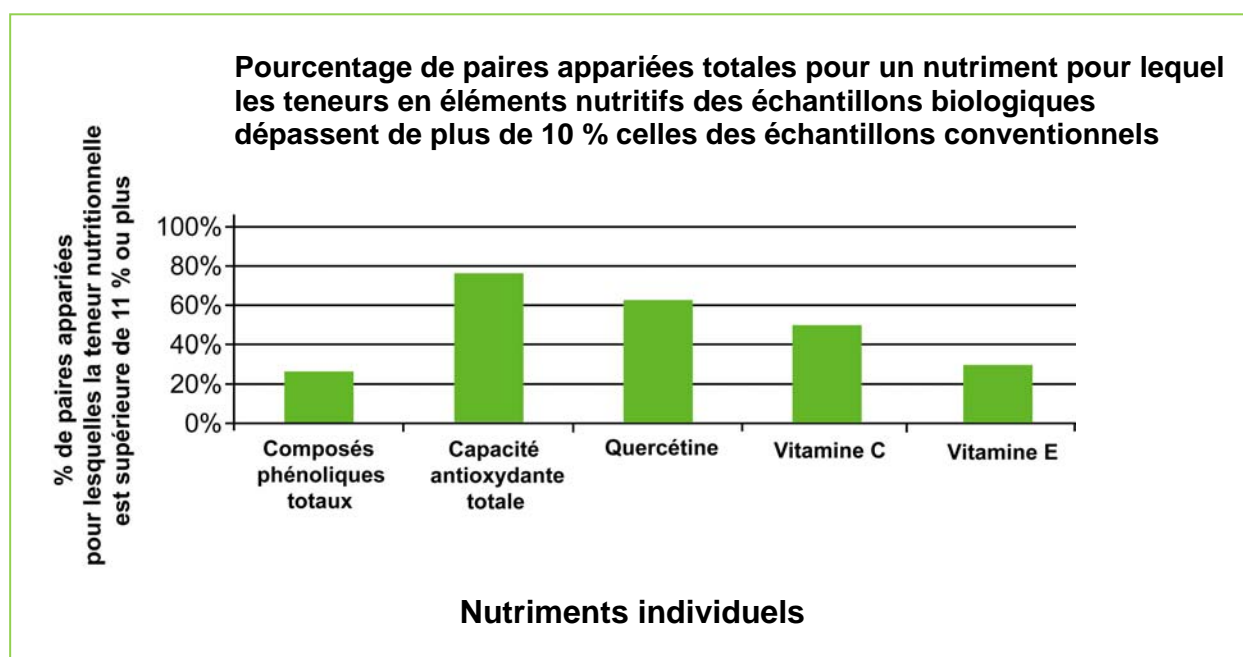
Pour les 236 paires appariées et onze nutriments en question, les aliments biologiques présentent en moyenne un avantage nutritionnel de 25 %. Les différences présentées dans cette étude sont suffisamment cohérentes et appréciables pour justifier la formulation d'une nouvelle réponse à notre question initiale :

Oui, les aliments biologiques d'origine végétale sont en moyenne davantage nutritifs.

Au cours des prochaines années, 20 à 30 nouvelles études seront sans doute réalisées et publiées. L'Organic Center consignera les résultats de ces études dans sa base de données et les soumettra aux mêmes types de tris fondés sur la valeur scientifique pour ensuite mettre à jour et raffiner les analyses qui y sont présentées.

Nous disposerons bientôt d'un nombre suffisant d'études de qualité supérieure pour atteindre le seuil de huit paires appariées valides pour plusieurs autres nutriments. Un nombre supérieur de paires appariées pour des nutriments essentiels comme les antioxydants et la vitamine C permettront d'estimer les différences relatives aux nutriments essentiels par culture et par aliment – la différence moyenne, par exemple, en regard de la capacité antioxydante totale des pommes biologiques et conventionnelles, ou de la teneur en vitamine C des oranges.

Figure 2



The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	5

Avec le temps, la base de données du Centre deviendra suffisamment vaste pour permettre l'exploration des liens entre des pratiques agricoles biologiques et conventionnelles précises, d'une part, et la densité nutritionnelle des aliments, d'autre part. Cela ouvrira un chapitre très intéressant en ce qui a trait à l'amélioration continue des systèmes de production biologiques.

Chaque ferme et chaque région agricole possède une combinaison unique de

patrimoine génétique, de sols, de climat et de pratiques qui ne demandent qu'à être découverts et qui ont le potentiel de produire des aliments savoureux présentant une densité nutritionnelle exceptionnelle. Voilà les fruits et les légumes dont nous avons besoin pour détourner les enfants — et les adultes — des aliments riches en gras et saturés de sucre et, dans la foulée, pour préparer le terrain en vue d'une amélioration soutenue de la santé publique.



The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	6



II. Importance de la valeur nutritive

Chez l'humain, la valeur nutritive des aliments dépend de plusieurs propriétés et constituants des aliments, de l'alimentation globale de la personne et de son état de santé.

La valeur nutritive d'un aliment donné dépend de son mode d'entreposage et de la forme sous laquelle il est consommé – aliment frais et entier, congelé et décongelé, en purée, cuit à la vapeur, séché ou produit à partir d'ingrédients multiples. La valeur nutritive dépend aussi, et de façon très marquée dans certain cas, des éléments qui ont été ajoutés au produit alimentaire (p. ex., sucre, sel, gras, vitamines et minéraux, additifs alimentaires, colorants alimentaires).

Les bienfaits pour la santé et sur le plan nutritionnel pour la personne qui consomme un aliment donné dépendent de son alimentation globale, de son état de santé et, en particulier, de la santé du tractus gastro-intestinal. La capacité du tractus gastro-intestinal d'une personne donnée de tirer profit de manière sélective des éléments nutritifs des aliments est aussi complexe et importante que la valeur et la composition nutritionnelles de l'aliment consommé.

Les États-Unis et d'autres nations sont aux prises avec les répercussions sur le bien-être individuel et sur les coûts des soins de santé de l'obésité et du diabète, et avec les graves problèmes de santé à long terme qui en découlent souvent. Ces deux épidémies ont été déclenchées, en grande partie, par l'adoption d'habitudes de vie davantage sédentaires couplées à des changements qualitatifs dans l'approvisionnement alimentaire et l'alimentation des Américains.

Ralentir et, à terme, renverser pareilles tendances constituent le principal défi en matière de santé publique auquel l'Amérique doit faire face aujourd'hui. À ce chapitre, notre succès, ou notre échec, aura d'énormes conséquences économiques et sociales à long terme.

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	7

A. Le côté sombre de l'alimentation des Américains

D'une part, nous constatons partout au pays un très vaste choix d'aliments, une cuisine de qualité diversifiée et une appréciation grandissante pour les fruits, les légumes et les boissons frais locaux. Quoiqu'il en soit, une part importante et croissante de la totalité des repas provient encore de restaurants-minute et, dans certaines familles, davantage de repas sont consommés en partie, voire en totalité, dans l'auto plutôt qu'à la maison.

L'Américain moyen consomme moins de la moitié des portions recommandées de fruits et de légumes, et, de ce fait, notre apport en vitamines et minéraux essentiels peut être considérablement déficient en dépit d'années d'efforts consacrées par les secteurs public et privé à encourager la consommation de fruits et légumes. Les apports en glucides, en sel et en graisses saturées ajoutés excèdent manifestement les lignes directrices recommandées, et nous consommons ou gaspillons environ 500 calories de plus par jour que nous le faisons en 1970.

Pour des millions d'Américains, la consommation déséquilibrée et excessive d'aliments a remplacé le tabac et le tabagisme comme première cause prévisible au pays de maladie, de mort prématurée et d'incapacité.

À la racine du problème

Lorsque le rôle de l'alimentation des Américains est étudié en regard de la progression de maladies connexes, les chercheurs insistent presque toujours sur l'apport calorifique excessif et la consommation accrue de graisses saturées et prennent rarement en compte les changements de valeur nutritive des aliments, et ce malgré les données démontrant que moins de 12 % des Américains satisfont aux critères d'une alimentation saine tels que définis par le ministère américain de

l'Agriculture (USDA) dans son document intitulé *Healthy Eating Index* (pour de plus renseignements sur cet indice, consultez le Web à <http://www.cnpp.usda.gov/HealthyEatingIndex.htm>).

L'*Healthy Eating Index* assigne un résultat de 0 à 10 pour chacun des dix groupes alimentaires, et donc un maximum possible de 100 points. Plus le résultat est élevé, plus la personne se conforme aux lignes directrices alimentaires recommandées.

On considère que les personnes qui obtiennent 80 points ou plus respectent de manière générale les apports alimentaires recommandés. En 1990, l'Américain moyen obtenait tout juste un résultat de 64 points, alors que 14 % des Américains obtenaient moins de 50 points. Les résultats à jour publiés en 2005 n'avaient rien d'encourageants – le résultat moyen obtenu au moyen de l'indice avait chuté à 58 points.

La combinaison d'une trop grande quantité d'aliments riches en calories mais pauvres en éléments nutritifs essentiels, et l'apport insuffisant en aliments riches en éléments nutritifs mais pauvres en calories a en grande partie accéléré l'augmentation actuelle de la morbidité et de la mortalité dues à l'obésité, au diabète et aux maladies connexes.



The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	8

Les améliorations en matière de densité nutritionnelle des aliments ne suffiront pas à elles seules à renverser de telles tendances néfastes. Les choix alimentaires doivent aussi changer, comme le doivent les modes de vie sédentaires malsains. Quoi qu'il en soit, accroître la densité nutritionnelle des aliments de consommation courante, surtout des grains entiers, des fruits et des légumes, constitue un pas essentiel dans la bonne direction.

Une campagne à l'échelle du système alimentaire visant à accroître la densité nutritionnelle par portion et par calorie consommées n'a que trop tardé, compte tenu du fait que la densité nutritionnelle de la plupart des fruits et légumes de consommation courante et des principales céréales connaît un déclin constant depuis environ cinq décennies.

La densité nutritionnelle de nombreux aliments de consommation courante diminue progressivement au fil du temps tant aux États-Unis (Davis et coll., 2004) qu'au Royaume-Uni (Mayer, 1997; White et Broadley, 2005). L'équipe pilotée par le M. Don Davis, de l'University of Texas-Austin, a examiné les changements survenus entre 1950 et 1999 dans les données sur la composition des aliments de l'USDA pour 43 cultures de légumes. Elle a constaté des déclins importants dans les concentrations médianes de six nutriments : protéines, calcium, phosphore, fer, riboflavine et vitamine C, comme l'indique la figure 2.1.

Le déclin de la teneur moyenne en éléments nutritifs des aliments aux États-Unis est le résultat de ce que les agronomes ont qualifié d'« effet de dilution », terme utilisé pour la première fois dans un important exposé de synthèse publié en 1981 (Jarrell et Beverly, 1981).

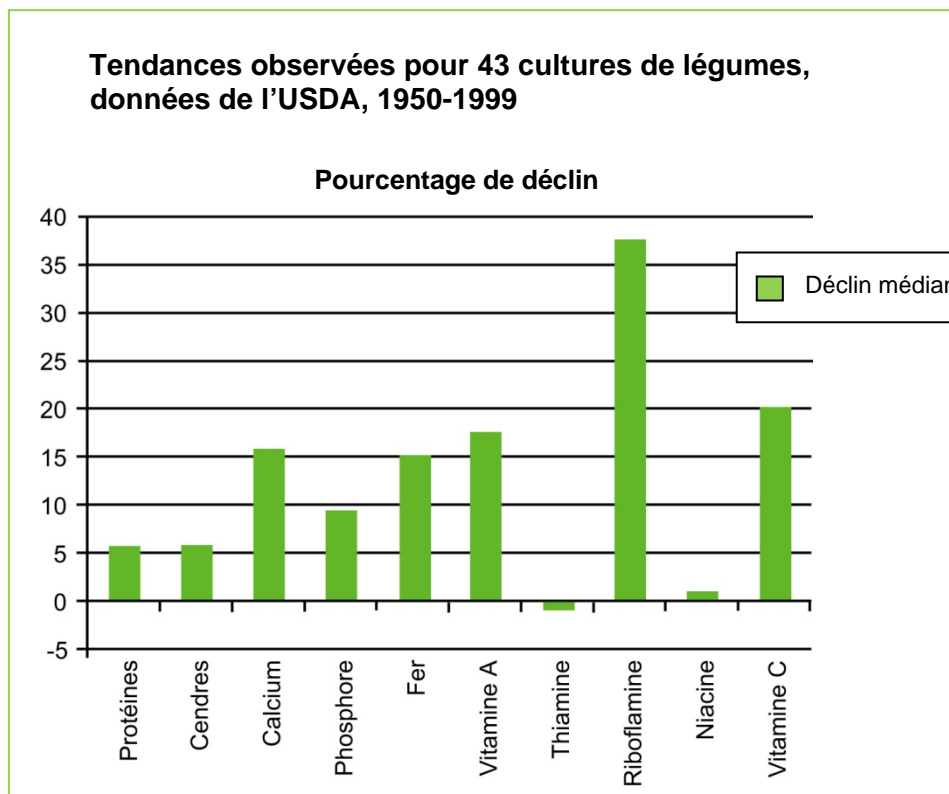
Les remarquables augmentations du rendement des cultures par acre obtenues en un demi-siècle grâce aux percées réalisées dans le domaine de l'amélioration des plantes, à l'usage intensif des engrais et des pesticides et aux techniques d'irrigation sont bien connues. Cependant, peu sont conscients du fait qu'une telle réalisation s'est faite aux dépens de la qualité de la valeur nutritive des aliments.

Le récent *Rapport sur un enjeu important* publié par le Centre en septembre 2007 décrit en détail les éléments de preuve corroborant la conclusion selon laquelle, aux États-Unis, les aliments (y compris les produits animaux) auraient subi une importante dilution sur le plan nutritionnel. Le rapport intitulé *Still No Free Lunch: Nutrient Levels in U.S. Food Supply Eroded in Pursuit of Higher Yields*, rédigé par Brian Halweil, est accessible sur le site Web du Centre (http://www.organic-center.org/science.nutriphp?action=view&report_id=115).

Déclin nutritionnel du maïs et du soja

Le déclin constant de la teneur en protéines du maïs et du soja cultivés aux États-Unis est devenu une source de préoccupation majeure dans le secteur du commerce des grains car, après tout, les agriculteurs éleveurs de bétail qui achètent du maïs et du soja achètent essentiellement des protéines destinées à stimuler la croissance animale. Ces cultures sont le fondement même de la portion produit animal du système alimentaire et, par conséquent, un déclin de la teneur moyenne en protéines de l'ordre de 20 % pour chacune des récoltes est une source de préoccupation.

Figure 2.1



Le déclin de la teneur en protéines et de la qualité des protéines du soja américain est, selon toute vraisemblance, attribuable en grande partie à l'adoption de variétés génétiquement modifiées tolérantes aux herbicides, surtout les sojas Roundup Ready.

L'infériorité nutritionnelle des sojas Roundup Ready a été établie par une équipe de scientifiques d'universités à concessions de terres du Midwest américain (Karr-Lilienthal et coll., 2004). Ces scientifiques ont comparé la teneur en protéines et la qualité des protéines de soja cultivé au cours de la

saison 2000-2001 en Argentine, au Brésil, aux États-Unis, en Chine et en Inde. Dans tous les cas, les produits du soja argentins affichaient la teneur la plus faible en protéines brutes, et, à l'époque, il s'agissait à 95 % de la variété Roundup Ready.

Le soja argentin renferme 32,6 % de protéines brutes (pourcentage exprimé en fonction de la matière sèche), par comparaison à 39,3 % pour le soja brésilien, à 37,1 % pour le soja américain et à 44,9 % pour le soja chinois, aucune des variétés en question n'ayant été génétiquement modifiée. Au moment de l'étude, environ la moitié du soja américain appartenait à la variété Roundup Ready, ce qui explique pourquoi ses teneurs en protéines se situaient entre celles obtenues pour le soja argentin, presque uniquement de la variété Roundup Ready, et celles obtenues pour le soja conventionnel (c.-à-d., n'appartenant pas à la variété Roundup Ready).

De nos jours, presque tout le soja non biologique cultivé aux États-Unis appartient à

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	10

la variété Roundup Ready, et le déclin de la teneur en protéines, par comparaison aux variétés conventionnelles, est probablement comparable à l'écart de 25 % et plus mentionné dans l'étude de Karr-Lilienthal entre le soja argentin et le soja chinois.

Dans le cas du maïs, les teneurs moyennes en protéines ont chuté d'environ 20 %, passant de 9 % à 10 % environ dans les années 1940 à 7 % ou 8 % aujourd'hui, et chutant parfois sous la barre des 6 %.

Dans le cadre du projet Longterm Corn Experiment, l'University of Illinois procède depuis plus de 100 ans à des tests sur des variétés de maïs populaires. Selon les chercheurs :

« En ce qui concerne les variétés commerciales récentes d'hybrides de maïs, les rendements accrus ont eu pour effet de réduire davantage les teneurs en protéines totales. » (Uribelarrea et coll., 2004)

Une étude indépendante a permis d'établir que la teneur en protéines du maïs a diminué d'environ 0,3 % au cours de chaque décennie du 20^e siècle, alors que la teneur en amidon s'est accrue de 0,3 % à chaque décennie (Pollack et Scott, 2005).

B. Physiologie végétale et densité nutritionnelle

Le pommier comme le plant de concombre possède au départ un bagage génétique qui, dans les limites déterminées par le milieu de croissance de l'arbre ou de la plante, détermine le nombre de cellules de chaque pomme ou concombre individuel qui sera finalement récolté. L'éventail des tailles de pommes ou de concombres récoltés au cours d'une saison donnée est déterminé par les facteurs suivants :

- moment d'apparition et taux de croissance du fruit individuel;
- conditions de croissance au cours de la saison, surtout la température et l'apport d'eau et de nutriments;

- mesure selon laquelle, le cas échéant, la plante ou l'arbre a subi des dommages dus à des organismes nuisibles, des stress environnementaux (comme le gel) ou des problèmes de sol (p.ex., compactage, augmentation du niveau de sel);
- mesures prises par l'agriculteur pour modifier le nombre de fruits d'une plante ou d'un arbre donné.

Comme chaque pomme ou concombre individuel compte au départ un nombre précis de cellules, les gros fruits renferment en moyenne des cellules de plus grande taille, ainsi que davantage d'air entre les cellules que ceux de plus petite taille. Ces espaces intercellulaires renferment peu de nutriments. Pour la plupart, les nutriments sont présents à l'intérieur des cellules, là où se produisent en majeure partie la croissance et l'activité métabolique.

Les plantes qui reçoivent de l'eau et des nutriments, surtout de l'azote, en quantité abondante à excessive reçoivent en quelque sorte un grand choc physiologique qui se traduit par ce qu'un scientifique a qualifié de « photosynthèse dopée aux stéroïdes »¹. Ce surplus de nutriments accroît la production de chloroplastes dans les cellules de la plante, ce qui accroît la production photosynthétique de glucides, les précurseurs des caroténoïdes, ainsi que de lipides et de protéines dans certains cas.

C'est pourquoi les teneurs en bêta-carotène et en vitamine A sont souvent supérieures dans les fruits et les légumes conventionnels – les caroténoïdes figurant parmi les quelques voies de synthèse biologique de choix lorsqu'une plante se trouve dans la situation enviable d'avoir à utiliser un surplus d'énergie et de nutriments. Ces mêmes conditions, toutefois, sont celles qui produisent une augmentation marquée des teneurs en nitrates dans les fruits et les légumes, augmentation non souhaitable pour la santé des plantes et la santé humaine en général.

¹ Expression utilisée par M. Gene Lester de l'Agricultural Research Service, USDA, qui a aussi fourni des indications pour la description de la physiologie de la croissance des plantes (communication personnelle, le 13 octobre 2007). Le M. Kirsten Brandt a lui aussi grandement contribué aux idées présentées dans cette section.

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	11

Aussi longtemps qu'une plante reçoit de l'azote, d'autres nutriments, de l'eau et de la lumière en abondance, voire en quantité importante, elle poursuit sa croissance végétative en vue d'accroître son volume (afin de l'emporter dans la lutte qu'elle livre aux plantes avoisinantes pour la lumière, l'eau et les nutriments). De plus, les plantes qui reçoivent des nutriments en quantité abondante à excessive transforment généralement les produits de la photosynthèse en simples glucides, amidon et caroténoïdes, plutôt qu'en produits importants pour l'homme, comme l'acide ascorbique.

L'effet à la baisse sur la production d'acide ascorbique (vitamine C) est dû au fait que la plante n'active pas la voie de synthèse biologique de l'acide ascorbique avant que son cycle de reproduction n'ait été enclenché². Cela se produit au moment où la plante met fin à sa croissance végétative et amorce une phase de maturation au cours de laquelle elle utilise la majeure partie de l'énergie et des nutriments restants pour opérer les changements physiologiques et morphologiques nécessaires à la production des graines et à la survie de l'espèce.

Au moment où s'amorce la phase de reproduction, la plante transmet aux racines un signal leur indiquant de cesser l'utilisation active de la plupart des nutriments majeurs et micronutriments. À ce stade, toute déficience ou tout déséquilibre des éléments nutritifs tend à se répercuter sur les fruits (à moins que l'agriculteur n'utilise un engrais foliaire, pratique souvent utilisée pour suppléer à un apport déficient de potassium, de calcium, de zinc ou de bore).

Dans la plupart des systèmes de production conventionnels à haut rendement caractérisés par un apport d'azote excessif, les plantes croissent vigoureusement, affichent une croissance végétative

abondante (qui nécessite souvent un émondage énergique et la gestion du couvert végétal), produisent des chloroplastes additionnels, et donc des taux élevés de caroténoïdes, mais retardent leur cycle de reproduction et la production de vitamine C. De telles plantes se caractérisent aussi par une accumulation de nitrates (aspect négatif en regard de la sécurité alimentaire et de la valeur nutritive).

En conséquence, il est fréquent d'observer dans un même échantillon d'aliment des teneurs relativement élevées en bêta-carotène et en nitrates et des teneurs relativement faibles en vitamine C car les causes physiologiques sont identiques dans les deux cas.

À l'inverse, dans les systèmes de production biologiques, les teneurs en vitamine C sont généralement élevées par comparaison à celles des plantes cultivées dans les systèmes à forte concentration d'azote, et on n'observe peu d'accumulation de nitrates, alors que les teneurs en bêta-carotène sont aussi quelque peu diminuées. Cela permet à la plante de mieux réagir aux stress occasionnés par les organismes nuisibles et par les variations climatiques extrêmes du fait de sa capacité accrue d'éliminer les radicaux libres par l'action de la vitamine C et d'autres systèmes antioxydants.

Les conclusions présentées à la section V de cette étude sont tout à fait cohérentes avec l'explication que nous venons de donner de la façon dont la physiologie de la croissance, du développement et de la reproduction des plantes influent généralement sur la distribution des divers nutriments et sur leurs teneurs dans les cultures vivrières.



² Certains légumes-feuilles récoltés au stade végétatif sont des sources abondantes d'acide ascorbique et de vitamine C.

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	12

Qu'ont en commun les pics de glycémie et les différentes formes d'azote?

Dans toute étude bien conçue établissant une comparaison entre les systèmes de production biologiques et conventionnels, il est important que l'apport total en azote soit égal. Mais l'une des différences majeures entre les exploitations de type biologique et les exploitations conventionnelles est la forme sous laquelle l'azote est présent dans le sol et dans le système de culture.

Dans les exploitations conventionnelles, la majeure partie de l'azote disponible pour les plantes au cours de la saison de production est appliquée sous forme d'engrais synthétique rapidement, voire immédiatement disponible. Par contre, dans les exploitations de type biologique, l'azote est fourni sous forme de matrice complexe qui comprend l'azote emmagasiné dans le sol, celui fixé par les légumineuses à partir de l'azote de l'air et celui provenant du fumier de compost, des émulsions de poisson et autres amendements des sols. Ces formes et ces sources d'azote sont libérées plus lentement et sont moins rapidement accessibles aux plantes.

La différence entre les formes d'azote utilisées dans les exploitations conventionnelles et celles de type biologique est importante, au même titre que la différence de réaction chez une personne qui mange une friandise plutôt qu'une pomme. Supposons que la friandise et la pomme renferment la même quantité totale de glucides. Avec la friandise, les glucides rapidement disponibles déclenchent un pic d'insuline (un problème chez les diabétiques) entraînant une hausse de la glycémie suivie d'une « chute » de résistance due à la baisse rapide du niveau d'énergie (ou de glucides). Par contre, avec la pomme, les glucides sont libérés lentement en raison de la dégradation prolongée de la matrice complexe des tissus du fruit. Il n'y a pas de pic d'insuline, mais plutôt un apport prolongé et constant d'énergie (ou de glucides) sans « chute » de glycémie.

Dans les exploitations conventionnelles, où l'azote est rapidement disponible, la plante utilise les glucides provenant de la photosynthèse pour produire davantage de protéines et un pic de croissance végétative. Elle produit ainsi davantage de feuilles, et donc davantage de chloroplastes et de caroténoïdes. Par contre, dans les exploitations de type biologique, l'apport plus lent et prolongé d'azote ne déclenche pas un pic de croissance, ce qui rend davantage de glucides issus de la photosynthèse disponibles pour d'autres fonctions métaboliques comme la production d'une plus grande quantité de vitamine C et de polyphénols.

À tout ceci s'ajoute un aspect environnemental. Comme les exploitations de type biologique se caractérisent par une mise en disponibilité progressive de l'azote, son apport tend à être mieux adapté aux besoins de la plante. De ce fait, la plante en absorbe davantage, et il en reste moins pour s'écouler hors des champs après une forte pluie, s'infiltrer dans les eaux souterraines ou se perdre dans l'atmosphère.

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	13

Nécessité d'axer les efforts sur les substances phytochimiques

La science a fait de grands progrès dans la compréhension de l'importance pour la santé humaine d'un éventail de métabolites secondaires des plantes, dont bon nombre sont des vitamines essentielles et des antioxydants favorisant la santé. Selon Harborne (1999), les métabolites secondaires des plantes se divisent en quatre catégories :

- composés phénoliques (p. ex., flavonoïdes et acides phénoliques);
- terpénoïdes (p. ex., caroténoïdes et limonoïdes);
- alkaloïdes (p. ex., indoles);
- composés soufrés (p. ex., glucosinolates).

Ces substances phytochimiques jouent un rôle direct dans la réaction des plantes aux sources de stress biotiques (c.-à-d., celles associées aux insectes ou aux maladies des plantes) et abiotiques (c.-à-d., associées aux variations climatiques extrêmes ou à des déséquilibres des nutriments du sol). Ces substances sont aussi à l'origine de la couleur des aliments et contribuent à leur saveur unique.

Dans un vaste corps de recherche en expansion rapide, les scientifiques étudient comment les métabolites secondaires des plantes contribuent à promouvoir une saine croissance et à combattre les maladies chez les animaux et les humains. Parmi les sujets brûlants traités dans les publications biomédicales, il est notamment question de la possibilité d'améliorer la santé cardiovasculaire et de réduire le taux de cholestérol, de supprimer la douleur et l'inflammation, de prévenir les maladies comme le cancer et de retarder le vieillissement par un apport accru d'antioxydants d'origine végétale. Nous avons traité globalement de ces recherches dans un article intitulé *Elevating Antioxidant Levels in Food through Organic Farming and Food Processing* publié sous la rubrique State of Science Review de notre site web (accessible à http://www.organiccenter.org/science/antiox.php?action=view&report_id=3).

Un organisme de recherche modeste mais en expansion a démontré que les méthodes utilisées en agriculture biologique comptent



parmi les facteurs susceptibles d'accroître de façon marquée, voire spectaculaire dans certains cas, la concentration de ces métabolites secondaires des plantes dans les produits alimentaires récoltés. Des écarts de l'ordre de 25 % sont courants, et, certaines études font état d'écarts attribuables aux systèmes de production atteignant 300 % (voir la prochaine section pour une présentation plus approfondie).

C. Deux questions fondamentales

Plusieurs études montrent que les fruits et légumes de culture biologique possèdent, en moyenne, une densité nutritionnelle supérieure à celle des produits de culture conventionnelle, bien que d'autres études fassent état de peu de différences, voire d'aucune, et que plusieurs autres indiquent que pour quelques nutriments précis, les aliments de culture conventionnelle renferment généralement des teneurs supérieures.

Les recherches antérieures dressent un portrait différent et généralement plus simple de la situation que les plus récentes, de qualité supérieure. Elles tendent à mettre uniquement l'accent sur des vitamines et des

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	14

minéraux dont les teneurs sont relativement faciles à mesurer, et accordent peu d'attention aux métabolites secondaires comme les polyphénols et les antioxydants, qui exigent généralement des méthodes d'analyse plus poussées pour être quantifiés avec précision.

Les recherches considérables menées au cours des 15 dernières années ont permis d'améliorer le dispositif expérimental des études comparatives et de déployer bien davantage de méthodes d'analyse pointues en vue de caractériser plus pleinement toute différence de teneur en nutriments.

Toutefois, des personnes et des organismes demeurent d'avis qu'il n'existe pas suffisamment de données scientifiques de qualité permettant de déterminer si l'agriculture biologique améliore ou non de manière générale, ou en moyenne, la valeur nutritive des aliments.

Le but de ce State of Science Review est de fournir une évaluation quantitative rigoureuse à jour de toute la recherche à comité de lecture de langue anglaise afin de répondre aussi complètement que possible à deux questions, et ce compte tenu des connaissances scientifiques actuelles, soit :

L'agriculture biologique améliore-t-elle de manière générale la valeur nutritive des fruits, des légumes et des grains?

Le cas échéant, pour quels nutriments et selon quel rapport?

Il existe actuellement quelque 100 études publiées dans des revues à comité de lecture ou dans des comptes rendus de conférences qui comparent efficacement la teneur en éléments nutritifs des aliments de culture biologique et de culture conventionnelle. Ces études se fondent sur un large éventail de concepts expérimentaux et portent essentiellement sur de nombreux aliments différents, sur plusieurs formes d'aliments et sur de multiples solutions de rechange aux systèmes de production.

À la prochaine section, nous résumons les principales conclusions rapportées dans les cinq analyses documentaires à comité de



lecture publiées depuis 2000. Chacune décrit le corpus de publications alors disponibles pour répondre à ces deux questions et présente des conclusions générales sur ce qui peut être affirmé à la lumière des publications scientifiques.

Pour la plupart, les auteurs des cinq analyses conviennent qu'il existe des différences systématiques pour quelques-uns (et pour les mêmes) nutriments, mais il faut davantage de recherche pour déterminer si les systèmes de production biologiques et conventionnels offrent ou non des avantages nutritionnels génériques en regard de la plupart des vitamines, minéraux et antioxydants importants contenus dans les aliments.

Heureusement, de nombreux nouveaux travaux scientifiques ont porté sur ce sujet depuis la réalisation de ces analyses documentaires. La section V présente les résultats d'une analyse quantitative des 97 études publiées jusqu'à la fin de 2007 et comparant la densité nutritionnelle des aliments biologiques et conventionnels.

L'une des étapes essentielles dont il est question à la section IV consiste à relever dans l'ensemble des études publiées les expériences et les résultats fondés sur des concepts scientifiques rigoureux mis à l'épreuve sur le terrain et associés à une méthode d'analyse fiable au moment où les aliments récoltés ont été apportés au laboratoire aux fins d'évaluation des formes de nutriments et des niveaux de concentration.

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	15

D. Mises en garde importantes

Il nous faut garder présentes à l'esprit certaines mises en garde importantes pour pouvoir interpréter correctement les conclusions de toute étude ou de tout ensemble d'études donné.

De multiples facteurs peuvent altérer la densité nutritionnelle

De nombreux facteurs influent sur la densité nutritionnelle des cultures, qu'elles soient biologiques ou conventionnelles. Certains facteurs influent également sur les deux systèmes de production, alors que quelques facteurs tendent à avoir une plus grande incidence sur un système que sur l'autre.

Le climat a une incidence énorme sur les teneurs en éléments nutritifs selon les années et les régions. La configuration des pluies et la répartition des températures, en particulier, ont une grande incidence sur la croissance et le développement des plantes. Pour une région, une culture et un cultivar donnés, quels qu'ils soient, il existe des régimes climatiques qui, la plupart des années, favorisent manifestement la densité nutritionnelle des cultures biologiques, par opposition à celle des cultures conventionnelles, et vice versa. De plus, les régimes climatiques et les conditions de croissance peuvent avoir une incidence différente sur différents nutriments.

Trois facteurs essentiels à contrôler dans les études comparatives

Les trois principaux facteurs ayant une incidence sur la densité nutritionnelle sont la génétique végétale, la méthode et le moment de la récolte (surtout la maturité) et le climat. C'est pourquoi les études les plus fiables intègrent dans leur dispositif expérimental des plantes possédant le même matériel génétique, des champs situés côte-à-côte ou

à proximité les uns des autres et des cultures récoltées de la même manière et au même stade de maturité.

Le mode de manipulation des végétaux après la récolte est déterminant quant au degré de nutriments présents au moment de la récolte qui demeureront dans les végétaux jusqu'à ce qu'ils soient consommés. C'est pourquoi les études qui mesurent la densité nutritionnelle des aliments frais juste après la récolte permettent d'éviter plusieurs facteurs post-récolte qui peuvent masquer ou fausser les différences réelles de teneurs en éléments nutritifs au moment de la récolte.

Les lois de la physiologie végétale rendent inatteignable la supériorité universelle

Les agriculteurs biologiques et conventionnels sont également assujettis aux lois de la physiologie végétale. Il n'existe aucun moyen de maximiser du même coup tous les nutriments, quels que soient la génétique végétale, les systèmes employés ou les compétences et les efforts déployés. Comme la supériorité universelle demeure inatteignable, les études comparatives doivent surtout porter sur les tendances générales et les incidences moyennes sur de nombreuses années et en de nombreux endroits pour l'ensemble des nutriments d'intérêt, et, en particulier, ceux pour lesquels les apports sont souvent déficients dans l'alimentation humaine.

Lorsqu'une plante de culture biologique se développe de manière telle qu'elle produit des teneurs supérieures de certains nutriments et de composants essentiels (protéines, glucides, vitamines, minéraux et antioxydants) par comparaison à une culture conventionnelle voisine, il va de soi que les teneurs d'autres nutriments seront moindres que dans les aliments de culture conventionnelle.



The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	16



En fait, les physiologistes des plantes ont découvert certaines règles empiriques générales expliquant la variation systématique – à la hausse ou à la baisse – des teneurs de certains ensembles de nutriments en réaction à certaines conditions de croissance et environnementales qui ont une incidence sur le développement et la maturation de la plante.

Les systèmes de production diffèrent les uns des autres et sont dynamiques

Il existe un large éventail dynamique de systèmes de production conventionnels et biologiques. Il est pratiquement impossible de définir avec précision ce qu'englobe un système de production conventionnel ou biologique, quel qu'il soit. En fait, et surtout pour les cultures de nombreux fruits et légumes frais, on a observé au cours des dernières années et dans certaines régions un degré important de convergence en ce qui a trait aux pratiques utilisées par les agriculteurs biologiques et conventionnels.

Par exemple, dans une bonne partie de la région de la côte centrale de la Californie et dans la vallée du Po en Italie, la plupart des agriculteurs conventionnels ont adopté certaines pratiques et tactiques de gestion initialement mises au point pour les agriculteurs biologiques ou expérimentées par eux. C'est pourquoi les comparaisons récentes de la valeur nutritive des cultures dans de telles régions aboutiront sans doute à des différences moins marquées de densité nutritionnelle que les études réalisées il y a dix ou 20 ans.

Les études fondées sur des échantillons prélevés auprès des détaillants sont coûteuses à réaliser

Lorsque les chercheurs comparent des échantillons de fruits ou de légumes biologiques et conventionnels achetés dans les supermarchés d'une région donnée ou de plusieurs régions, de nombreux facteurs peuvent expliquer les différences observées dans les teneurs en nutriments. Il faudrait tester un grand nombre d'échantillons pour déterminer s'il existe ou non des différences systématiques dans la valeur nutritive des aliments biologiques et conventionnels achetés chez les détaillants.

À notre connaissance, aucune équipe de scientifiques des États-Unis ou d'ailleurs dans le monde n'a été en mesure de réaliser une étude suffisamment vaste pour appuyer une conclusion d'ordre général concernant les différences de valeur nutritive pour un échantillon transversal de fruits et de légumes biologiques et conventionnels obtenus auprès de détaillants. Quelques études de grande qualité ont porté essentiellement sur un aliment précis pour lequel des échantillons en quantité suffisante achetés auprès de détaillants ont été testés afin d'appuyer des conclusions fiables concernant les différences de valeur nutritive pour l'aliment en question.

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	17

III. Survol des études publiées et des analyses documentaires comparant la valeur nutritive des aliments biologiques et des aliments conventionnels

L'ensemble des connaissances disponibles permettant de réaliser une méta-analyse (ou comparaison inter-études) des teneurs en nutriments des aliments biologiques et conventionnels s'est considérablement élargi au cours des dernières années. La publication de certaines études a suscité bien des critiques et des controverses quant au caractère adéquat des concepts expérimentaux et des techniques d'analyse.

Chaque débat a contribué à l'amélioration progressive du modèle d'étude et de la rigueur statistique. Ce qui est heureux, car la réalisation des études de terrain comparatives exigent de nombreux efforts et, de ce fait, ces études sont coûteuses en ressources et en temps.

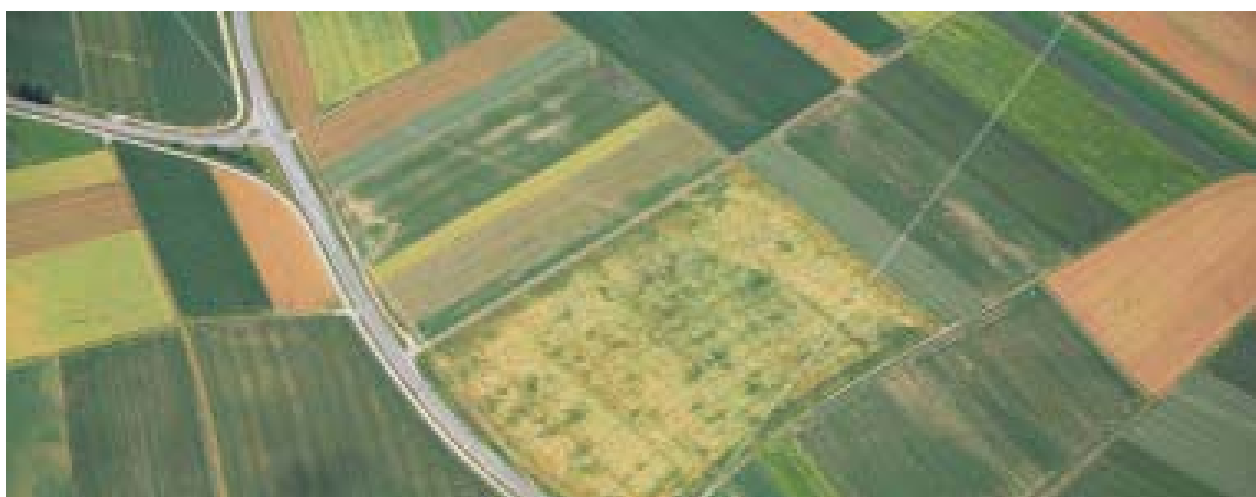
Les exploitations agricoles biologiques et conventionnelles bien établies et aménagées côte-à-côte constituent le meilleur endroit où étudier le rendement de ces deux systèmes de production. Cependant, les scientifiques qui travaillent dans un contexte commercial ne peuvent exercer le même degré de contrôle dans la réalisation d'une étude comparative que lorsque les parcelles sont cultivées dans un centre de recherche, où

l'équipe de recherche est responsable de l'ensemble des décisions et des tâches à réaliser sur le terrain.

Les désavantages inhérents à la réalisation d'une recherche comparative dans des exploitations agricoles en opération s'atténuent toutefois en comparaison des avantages que présente la pertinence des résultats des recherches visant à relever les défis liés à gestion d'une vraie exploitation agricole.

A. Études publiées comparant la valeur nutritive des aliments conventionnels et des aliments biologiques

Toute une gamme d'analyses et de ressources bibliographiques antérieures ont servi à compiler 97 études publiées comparant la valeur nutritive des aliments biologiques et des aliments conventionnels. La liste de ces études est présentée à l'annexe 1 plutôt que dans la bibliographie générique de cette étude.



The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	18

Les études publiées avant 1980 n'ont pas été incluses en raison de questions touchant aux points suivants :

- la nature des systèmes de production biologiques avant l'élaboration de normes détaillées de production biologique;
- les dispositifs expérimentaux;
- les techniques de préparation des échantillons et les méthodes d'analyse.

Les études publiées dans les années 1980 et dans les années 1990 comptent pour 52 % des 97 études, tandis que les travaux plus récents comptent pour 48 %, comme l'indique les tableaux 2.1 et 2.2.

L'intérêt pour ce sujet s'est manifestement accru. Dans les années 1980, seul 1,2 article a été publié en moyenne par année dans les publications à comité de lecture. Le taux a plus que triplé dans les années 1990, passant à 3,8 articles par années en moyenne. Depuis le début de l'année 2000 et jusqu'à la fin de 2007, ce taux a presque doublé de nouveau, ce qui correspond à 47 articles au total, soit six par année en moyenne.

Dans les cinq dernières années seulement, 31 % des 97 articles ont été publiés. C'est pourquoi toute analyse sur le sujet qui reflète les études publiées jusqu'à la fin de 2002 est maintenant dépassée. De même, toute personne ou tout groupe qui fonde sur ces analyses ses conclusions ou ses opinions sur les différences entre la valeur nutritive des aliments biologiques et celle des aliments conventionnels se doit de jeter un nouveau regard sur les données tant anciennes que nouvelles en rapport avec le sujet.

B. Rapports de synthèse évaluant les études de la qualité des aliments biologiques

Cinq analyses ont été publiées dans des revues à comité de lecture depuis 2000, et chacune d'elle est brièvement résumée dans cette section. Ces analyses aboutissent à des conclusions similaires, bien que le centre d'intérêt diffère quelque peu dans chaque cas.

Tableau 2.1

Nombre d'études à comité de lecture comparant la valeur nutritive des aliments biologiques et des aliments conventionnels parues dans les années 1980 et 1990					
	Total pour les années 1980	Total pour les années 1990	Total de 1980 à la fin des années 1990	Moyenne annuelle, années 1980	Moyenne annuelle, années 1990
Nombre d'études publiées	12	38	50	1,2	3,8

Tableau 2.2

Nombre d'études à comité de lecture comparant la valeur nutritive des aliments biologiques et des aliments conventionnels parues depuis 1999								
	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000
Nombre d'études publiées	6	4	9	10	6	3	5	4

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	19

Brandt et Molgaard, 2001

L'une des analyses les plus controversées publiées à ce jour est parue en 2001 dans le *Journal of the Science of Food and Agriculture* et s'intitule *Organic agriculture: does it enhance or reduce the nutritional value of plant foods?* Brandt et Molgaard, deux scientifiques danois, examinent en détail les théories selon lesquelles les aliments biologiques seraient plus nutritifs que les aliments conventionnels.

Les auteurs traitent de l'incidence des conditions de croissance sur la physiologie végétale et de la production des principaux éléments d'origine végétale et des principaux constituants alimentaires. Ils soulignent le fait que « généralement, la teneur en protéines s'accroît avec l'absorption d'azote, et que la teneur en glucides augmente lorsque les taux de phosphore sont faibles par rapport ceux des autres éléments ». Dans le cas de la vitamine C, ils observent que la teneur tend à augmenter chaque fois que la plante est soumise à un stress oxydatif, qui peut être déclenché par la lumière du soleil, par une sécheresse ou par la faible disponibilité de l'azote.

Ils soutiennent que s'il est vrai que les cultures conventionnelles ont généralement une teneur quelque peu supérieure en protéines, cela confère peu d'avantages du point de vue de la santé humaine dans les pays développés où l'alimentation moyenne procure un apport protéinique plus que suffisant. Ils s'interrogent aussi à savoir si l'apport en vitamines et en minéraux est lui aussi inadéquat, mais concluent que les apports en métabolites secondaires antioxydants des plantes sont nettement déficients, et que les fruits et les légumes sont uniquement importants dans la mesure où ils procurent ces nutriments à ceux qui les consomment.

Dans l'une des parties les plus intéressantes de leur analyse, ils soulignent que les métabolites secondaires des plantes peuvent être toxiques lorsque consommés à des

doses élevées, et qu'ils peuvent alors en fait avoir un effet pro-oxydant plutôt qu'un effet antioxydant. Ils expliquent que certains métabolites secondaires des plantes sont des éléments antinutritionnels (composés qui atténuent la biodisponibilité des protéines et autres nutriments). À ce titre, ils peuvent reproduire les conséquences de la restriction calorique en diminuant la biodisponibilité des nutriments et contribuer ainsi à améliorer la santé (Brandt et Molgaard, 2001)³.

En ce qui a trait à des nutriments précis, ils ne font état d'aucune différence systématique entre les aliments biologiques et les aliments conventionnels pour la plupart des vitamines et minéraux, mais d'une teneur supérieure en protéines et en nitrates dans les aliments de culture conventionnelle. Ils signalent aussi le fait que les cultures biologiques « ont une résistance intrinsèque supérieure à celle des cultures conventionnelles, car elles se défendent relativement bien [contre les plantes pathogènes] sans qu'il soit nécessaire de les protéger au moyen de pesticides ».

En se fondant sur l'ensemble des données examinées et sur leur expérience dans le domaine de la recherche, les auteurs ont été en mesure de tirer une conclusion provisoire sur les teneurs en antioxydants :

« [...] nous nous avançons à estimer que les teneurs en métabolites secondaires de défense des légumes biologiques sont 10 % à 50 % supérieures à celles des légumes de culture conventionnelle. »

Les plus récentes études publiées citées dans l'analyse documentaire de Brandt-Molgaard ont paru en 2000.

Worthington, 2001

Une comparaison des teneurs en minéraux et en vitamines des aliments produits au moyen d'engrais biologiques et conventionnels a été publiée par Virginia Worthington dans le *Journal of Alternative and Complimentary Medicine* et a été largement citée en raison de son approche à la fois simple et directe et

³ L'Organic Center publiera à l'été 2008 sous sa rubrique State of Science Review un article traitant de l'obésité et du diabète. L'évolution rapide des connaissances sur la capacité des antioxydants à susciter un sentiment de satiété et à reproduire les effets positifs de la restriction calorique y sera traitée en détail.

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	20

concentrée sur l'étude des engrais et des teneurs en éléments nutritifs des aliments car « le contrôle de la fertilité est l'aspect qui, de tout temps, présente la différence la plus fondamentale entre l'agriculture biologique et l'agriculture conventionnelle ».

Le test de Wilcoxon pour observations appariées a été utilisé pour relever des différences significatives du point de vue statistique dans les teneurs en éléments nutritifs dans 41 études publiées englobant 22 essais en champ reproduits, quatre essais en champ simples, quatre études en pot de serre, quatre études panier du marché et huit enquêtes auprès de fermes commerciales ou de particuliers cultivant leur jardin.

La plupart des études utilisées dans cette méta-analyse ont été publiées dans les années 1970 et dans les années 1980, et aucune étude parue après 1999 n'est citée.

Douze nutriments ont été analysés, des minéraux pour la plupart. Les teneurs de quatre d'entre eux étaient considérablement plus élevées dans les aliments biologiques que dans les aliments conventionnels, mais la teneur d'une substance « toxique » (le nitrate) était considérablement moindre (une différence souhaitable) dans les aliments biologiques. Les nutriments étudiés et les différences de pourcentage entre les aliments biologiques et les aliments conventionnels sont les suivants :

- vitamine C, +27 %
- fer, +21%
- magnésium, +29 %
- phosphores, +14 %
- nitrates, -15 %

L'auteure présente des données faisant état de la gamme des différences de teneurs en éléments nutritifs pour une variété de légumes. Les données disponibles indiquent aussi que les aliments conventionnels tendent à avoir des teneurs supérieures en protéines, mais que les aliments de culture biologique tendent à contenir des protéines de meilleure qualité. (L'équilibre des acides aminés de la protéine en détermine la « qualité » dans la mesure où elle répond alors aux besoins nutritionnels humains.)

Bourn et Prescott, 2002

Deux scientifiques de la Nouvelle-Zélande ont publié une analyse comparative approfondie de la valeur sensorielle (goût, arôme) et nutritive des aliments biologiques et des aliments conventionnels et ont aussi évalué leurs différences du point de vue de la sécurité alimentaire. L'étude de Bourn et Prescott, parue en 2002, couvre les publications parues durant la majeure partie de l'année 2000.

Les auteurs attirent l'attention sur le manque d'études comparatives bien conçues englobant les aspects sensoriel et nutritionnel ainsi que la sécurité alimentaire. Ils concluent à l'existence de preuves solides en faveur d'une différence de valeur nutritive entre les aliments conventionnels et les aliments biologiques dans le seul cas des nitrates. Ils soulignent aussi la nécessité de procéder à davantage de recherche sur l'incidence des systèmes de production sur les formes et la biodisponibilité des nutriments, un thème qui trouve un écho dans les analyses et les publications biomédicales plus récentes.

Ils concluent que les études existantes ne permettent pas de tirer quelque conclusion que ce soit sur les différences d'ordre sensorielle entre les deux systèmes de production. Ils concluent aussi qu'il n'existe pas de preuve de différences significatives dans la vulnérabilité des aliments biologiques ou conventionnels à la contamination microbiologique. Pour terminer, ils observent que les aliments biologiques ont généralement des teneurs moindres de résidus de pesticides, mais signalent aussi le manque de documentation corroborant cette conclusion.

Williams, 2002

Christine Williams, nutritionniste de l'University of Reading au Royaume-Uni, a publié une étude portant uniquement sur la valeur nutritive dans le journal *Proceedings of the Nutrition Society*. Elle s'est surtout intéressée aux études comparant la teneur en éléments nutritifs ainsi qu'à plusieurs rapports sur des études portant sur l'alimentation des animaux à partir d'aliments biologiques ou

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	21

conventionnels. Elle fait état de « constatations raisonnablement systématiques concernant les teneurs supérieures en nitrates et inférieures en vitamine C des légumes de culture conventionnelle, surtout les légumes-feuilles ». Pour le reste, elle est d'avis qu'il existe trop peu d'études de qualité supérieure et trop de résultats contradictoires dans les publications pour tirer des conclusions.

De même que pour l'analyse de Bourn et Prescott, l'étude la plus récente citée par Williams est parue en 2000.

Magkos et coll., 2003

Des nutritionnistes et des diététistes grecs ont publié l'analyse la plus récente parue dans une revue à comité de lecture, soit *l'International Journal of Food Sciences and Nutrition*. Ils signalent le manque d'études bien conçues et concluent que les résultats doivent être interprétés « avec prudence ». Ils ont tout de même relevé des différences, y compris des teneurs légèrement supérieures en acide ascorbique et en vitamine C dans les légumes-feuilles et les pommes de terre de culture biologique.



Ils constatent en outre la tendance vers des concentrations moindres de protéines, mais vers une qualité supérieure de protéines dans certains légumes et dans certaines céréales biologiques. Ils concluent aussi à l'existence de preuves attestant d'une légère amélioration de la performance de reproduction et de l'état de santé des

animaux nourris avec des aliments biologiques.

Dans leur analyse, Magkos et coll. citent trois études publiées en 2002. L'une fait état d'une enquête auprès des consommateurs; l'analyse de Bourn et Prescott est mentionnée; et il est question d'un rapport de recherche original sur l'alimentation et la santé des moutons. De ce fait, cette analyse ne reflète que les publications parues jusqu'à la fin de 2001.

Nécessité d'une analyse contemporaine

Aucune nouvelle analyse sur le sujet n'a été publiée depuis 2003, et la plus récente est fondée sur les publications parues jusqu'à la fin de 2001. Au cours des six années et plus qui ont suivi plus de 40 nouvelles études ont été publiées (y compris celles mentionnées au tableau 2.2 de la page 18, et plusieurs autres parues au cours des deux premiers mois de 2008).

Le temps est donc venu de publier de nouvelles analyses documentaires sur les publications comparant les teneurs nutritives des aliments biologiques et des aliments conventionnels. Au Royaume-Uni, la Food Standards Agency a récemment commandé une telle analyse documentaire dont la publication est prévue pour juin 2008. Une équipe de scientifiques européens associée au projet Quality Low-Input Food (QLIF) travaille à la réalisation d'une analyse exhaustive portant sur les aliments d'origine végétale, analyse qui devrait paraître vers la moitié ou la fin de 2008, et une autre équipe du projet QLIF a entrepris une analyse documentaire portant essentiellement sur les produits animaux.

L'équipe chargée de l'étude en cours pour le compte de l'Organic Center travaille aussi à la réalisation d'une analyse statistique plus pointue sur ce corpus de publications et y intégrera plusieurs nouvelles études parues au cours des premiers mois de 2008. Il est à espérer que cette analyse documentaire sera publiée en temps voulu dans une revue à comité de lecture adéquate.

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	22



C. Questions d'ordre méthodologique liées à la comparaison des valeurs nutritives des aliments biologiques et des aliments conventionnels

Comme les facteurs ayant une incidence sur la valeur nutritive des aliments sont si nombreux, les études visant à comparer la valeur nutritive des aliments conventionnels à celle des aliments biologiques doivent être conçues de manière à éliminer ou à maîtriser, dans la plus grande mesure possible, les multiples variables confusionnelles potentielles.

Deux articles ont directement traité du concept approprié des études destinées à comparer le rendement des systèmes de production autres que conventionnels. En 1997, van der Werf et coll. ont publié un document intitulé *Methodological Issues in Comparative Agro-Economic On-farm Research Assessments of Organic Versus Conventional Farming Techniques* dans la revue *Biological Agriculture and Horticulture* du Royaume-Uni. Bien que le document traite essentiellement de la réalisation de telles études dans les pays en développement, les questions fondamentales qui y sont abordées et les suggestions proposées ont une valeur universelle.

Les auteurs soulignent la nécessité de définir clairement les systèmes de production comparés. Ils recommandent d'utiliser la définition de l'agriculture biologique proposée par la Fédération internationale des

mouvements d'agriculture biologique. Ils soutiennent que l'agriculture conventionnelle devrait être définie « comme l'ensemble des pratiques agricoles les plus courantes du milieu de la recherche » (van der Werf et coll., 1997).

Les auteurs décrivent trois approches possibles pour la réalisation de recherches comparatives :

- comparaison des fermes individuelles aux moyennes régionales;
- désignation de paires (ou de groupes) appariées de fermes ou de champs, chacune comprenant une ferme ou un champ biologique et une ferme ou un champ conventionnel;
- réalisation dans un centre de recherche d'un essai contrôlé reproduisant dans la mesure du possible les systèmes de production biologique et conventionnel.

Les auteurs favorisent la seconde approche pour plusieurs raisons, notamment sa pertinence en regard des exploitations commerciales, l'habileté à sélectionner des paires appariées qui éliminent toute une gamme de variables confusionnelles et sa tendance à produire des résultats plus fiables. Ils recommandent aussi que les équipes de recherche concentrent leurs efforts sur des ensembles définis de pratiques plutôt que sur le rendement de l'ensemble de l'exploitation, car ce dernier aspect s'accompagne d'un trop grand nombre de défis additionnels ayant trait à l'analyse et à la collecte de données.

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	23

En principe, les agriculteurs devraient posséder au moins deux années d'expérience dans l'utilisation d'une technique biologique donnée avant de pouvoir participer à une étude comparative. De plus, il est important de voir à ce que les fermes et les agriculteurs choisis pour être inclus dans une paire appariée soient représentatifs d'un large segment des agriculteurs biologiques et de type conventionnel.

Particularités techniques optimales d'une étude comparative rigoureuse

M. Gene Lester, phytophysiologiste au Kika de la Garza Subtropical Agricultural Research Center de Weslaco, au Texas, est l'auteur d'une analyse documentaire publiée en 2006 dans *Hort Science* et intitulée *Organic versus Conventionally Grown Produce: Quality Differences, and Guidelines for Comparison Studies*. Lester a analysé, souvent de manière critique, plusieurs études publiées et a décrit de nombreuses lacunes méthodologiques dans la conception et la conduite des études qui peuvent mener à des résultats douteux.

Il fait remarquer « l'immense variabilité » des données sur les teneurs en éléments nutritifs et souligne que cela complique l'interprétation de cette masse de données dans son ensemble. Il attribue la variabilité des résultats des études aux difficultés inhérentes à la maîtrise et à la normalisation des facteurs fondamentaux qui ont une incidence sur le développement et le rendement des plantes. Il avance tout de même « [...] que les données disponibles constituent une mine d'information et qu'une normalisation adéquate permettrait d'en tirer des conclusions systématiques [...] » (Lester, 2006).

Lester soutient qu'il est essentiel de neutraliser l'incidence des variables liées aux pratiques de production, à la manutention et à l'entreposage, qui peuvent toutes altérer les teneurs en nutriments. Il décrit en détail un protocole d'étude rigoureux fondé sur les travaux réalisés au de la Garza Center sur le pamplemousse conventionnel et biologique. Il présente aussi un ensemble général de principes à suivre, dans la mesure du possible, durant la saison de croissance, au moment de la récolte et après la récolte.

Voici quelques-unes des conditions de saison de croissance et de pré-récolte qui, selon Lester, devraient idéalement être atteintes pour la réalisation d'une étude comparative de qualité supérieure :

- site certifié biologique;
- textures du sol identiques tout au long du profil de croissance des racines, et qualité comparable des sols;
- récoltes antérieures identiques;
- méthodes d'irrigation, source et quantités similaires;
- sites d'étude situés aussi près que possible les uns des autres (sans violer les exigences de séparation inhérentes aux normes de production biologique);
- cultivars ou âge des plantes, des arbres ou des vignes identiques;
- répétition de l'étude pendant trois années ou plus, ou pendant trois cycles de culture;
- consignation de tous les intrants utilisés dans la production.

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	24

En matière de récolte, les exigences sont notamment la même méthode de récolte, la même taille et le même stade de maturité des fruits, la même période de la journée (les teneurs en éléments nutritifs peuvent changer énormément durant la nuit, et de nouveau avant la tombée de la nuit), et les aliments crus devraient être manipulés, transportés et entreposés de la même manière jusqu'à ce que soient menés les essais portant sur les teneurs en éléments nutritifs.

Bien que Lester reconnaisse que des données plus rigoureuses éclaireront le débat en cours sur la valeur nutritive des aliments biologiques et des aliments conventionnels, il soutient ce qui suit :

« L'avantage réel de ces comparaisons réside dans le fait qu'elles permettront de déceler les forces et les faiblesses des

intrants utilisés dans la production qui influent sur le goût et sur la valeur nutritive, de sorte qu'il sera possible d'apporter des changements visant à améliorer tant les produits de culture biologique que ceux de culture conventionnelle. » (Lester, 2006)

Les observations de Lester et de van der Werf sur les défis souvent difficiles que doivent relever les chercheurs qui mènent des études comparatives sur la valeur nutritive des aliments biologiques et des aliments conventionnels ont été pris en compte dans la conception des méthodes de tri utilisées pour trouver les études valides, ainsi que dans l'élaboration des critères utilisés pour sélectionner les paires appariées d'aliments biologiques et conventionnels à inclure dans les comparaisons inter-études des teneurs en éléments nutritifs. Ces deux aspects sont expliqués à la section IV.



IV. Méthodes de tri et critères de sélection pour la désignation des paires appariées valides



Cette étude a pour but de déterminer si les études comparatives publiées de qualité supérieure sur la valeur nutritive des aliments biologiques et des aliments conventionnels sont favorables au système de production biologique, au système de production conventionnel ou à aucun des deux systèmes.

Nous examinons aussi l'ampleur des différences pour divers nutriments essentiels pour un échantillon transversal d'aliments biologiques et conventionnels, dans l'espoir de déterminer si l'agriculture biologique produit ou non, en moyenne, des aliments plus nutritifs.

Notre approche

Deux étapes sont requises pour répondre aux deux questions fondamentales de cette étude :

1. Trouver les études scientifiques valides au cours desquelles les teneurs en éléments nutritifs de paires appariées d'aliments biologiques et conventionnels ont été mesurées lorsque cultivés dans des conditions largement identiques – autres que les différences entre les méthodes propres à l'agriculture biologique et à l'agriculture conventionnelle.

2. Déterminer si les différences, en moyenne, favorisent le système de production biologique, le système de production conventionnel, ou ni l'un ni l'autre des deux systèmes pour l'ensemble des paires appariées pour lesquelles la teneur d'un nutriment donné a été mesurée dans les aliments biologiques et conventionnels.

Utilisant deux méthodes simples permettant de caractériser l'ampleur des différences observées dans les paires appariées pour les nutriments individuels, nous présentons les différences de teneur en nutriments pour les nutriments pour lesquels nous possédons huit paires appariées valides ou plus. Onze nutriments satisfont aux exigences de ce test.

Cette section décrit comment nous avons réalisé la première étape – soit trouver un ensemble de paires appariées valides d'aliments biologiques et conventionnels.

Les analyses antérieures de ce corpus de publications ont utilisé divers critères de tri pour sélectionner à partir de l'ensemble des études disponibles celles jugées « acceptables », « valides » ou « fiables ». Nous sommes d'accord avec l'idée qu'un tel tri est nécessaire dans le cadre d'une méta-analyse portant sur les conclusions d'études publiées.

Comme nombre d'études datant d'avant 1980 ont été réalisées à partir de dispositifs expérimentaux et de méthodes d'analyses discutables et avant même que n'existe une définition claire des systèmes de production biologique, nous n'avons analysé ni inclus aucune étude publiée avant 1980. De plus, nous avons élaboré et avons appliqué à 97 études publiées deux méthodes de tri fondées sur les éléments suivants :

- dispositif expérimental et aspects agronomiques de l'étude (traités à la section A);
- méthodes d'analyse utilisées pour mesurer les teneurs en éléments nutritifs et en faire état (section B).

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	26

Plusieurs études font état de résultats pour plus d'une culture. Nous avons appliqué chacune des deux méthodes de tri mentionnées ci-dessus de manière indépendante pour chacune des cultures comprises dans une étude donnée.

Nous avons élaboré un ensemble de critères et de règles de décision que nous avons appliqué à chacun des attributs ou des méthodes d'une méthode de tri, et, en nous fondant sur ces critères et ces règles, avons classé toutes les combinaisons étude-culture dans l'une ou l'autre des trois catégories suivantes : qualité supérieure, acceptable ou non valide. Les études ont été évaluées de manière indépendante par un groupe de cinq scientifiques possédant des compétences techniques en nutrition, en horticulture, en agronomie, en méthodes statistiques, en systèmes de production, en normes biologiques et en analyse phytochimique.

Toute combinaison étude-culture jugée « non valide » à la lumière de la méthode de tri fondée sur les pratiques agronomiques et le dispositif expérimental n'a pas été analysée plus en profondeur, et aucun résultat n'a été consigné dans les comparaisons inter-études des teneurs en éléments nutritifs des échantillons biologiques et conventionnels d'une paire appariée.

Toute combinaison étude-culture jugée de « qualité supérieure » ou « acceptable » à la lumière de la même méthode de tri a été soumise à un tri fondé sur nos méthodes d'analyse.

En ce qui concerne les méthodes d'analyse, nous avons évalué chaque méthode pour un nutriment donné de manière indépendante. Par conséquent, pour une étude donnée, la méthode utilisée pour mesurer les acides organiques peut être jugée « acceptable », alors que celle fondée sur la capacité antioxydante totale peut être jugée « non valide ». Les critères et les règles de décision régissant ces jugements sont expliqués ci-dessous. Tous les résultats liés aux combinaisons étude-culture pour lesquels

les méthodes d'analyse sont jugées « non valides » n'ont été soumis à aucune autre forme d'examen.

L'univers des études

Comme nous l'observons à la section précédente, un large éventail d'études réalisées au cours de décennies a servi à comparer la valeur nutritive des aliments biologiques et des aliments conventionnels. Ces études se distinguent à bien des égards :

- définition, nature et longévité des systèmes de production biologiques et conventionnels;
- protocoles d'essais pratiques et dispositif expérimental;
- types de sols et traitements de fertilité;
- génétique végétale;
- gestion des organismes nuisibles et autres pratiques agricoles;
- méthodes et moment de récolte;
- manutention après récolte et formes d'aliments testées (p. ex., aliments frais, séchés, en conserve ou congelés);
- types de nutriments et formes mesurées, modalités de préparation des échantillons en vue des essais, outils et techniques de mesure, et base utilisée pour faire état des résultats (poids sec, poids frais, etc.);
- tests statistiques utilisés pour étudier les différences importantes des teneurs en éléments nutritifs des échantillons d'aliments biologiques et conventionnels des paires appariées.

Quelques études établissent une comparaison entre un seul système de production biologique et un seul système de production conventionnel, alors que la plupart concernent deux variantes ou plus d'un système de production biologique, ou une à plusieurs variantes des systèmes de production conventionnels. Environ le quart des études présentent des résultats concernant des systèmes de production ayant en commun certaines, mais non pas toutes les caractéristiques des systèmes biologiques et conventionnels (p. ex., systèmes de type LAI, intégrés ou à faible apport d'intrants).

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	27



Certaines études présentent les résultats obtenus pour une seule année et un seul endroit, mais la plupart font état des résultats correspondant à de multiples années, à de multiples endroits, à différents cultivars, à différentes sources de nutriments (p. ex., fientes de poulet, compost) et à des pratiques précises (p. ex., usage de culture-abri, rotation précise).

Par exemple, une étude donnée peut faire état d'une dizaine ou plus de comparaisons des teneurs en vitamines, en minéraux ou en antioxydants de paires appariées de pommes, de concombres ou de légumes-feuilles biologiques et de pommes, de concombres ou de légumes-feuilles de culture conventionnelle.

Plus le nombre de comparaisons de paires appariées tirées d'une étude donnée et intégrées à des analyses inter-études est grand, plus la pondération implicitement assignée à cette étude du point de vue des analyses inter-analyses est grande (pour autant que les résultats obtenus pour chacune des paires appariées reçoivent une pondération égale).

Dans le contexte de la présente étude, il est donc nécessaire de se doter d'une méthode afin de réduire au minimum cette source potentielle de biais dans les résultats. C'est pourquoi nous avons élaboré un ensemble de critères et de règles de décision qui ont régi la sélection des paires appariées de données sur les nutriments provenant d'une étude donnée à intégrer dans nos analyses

inter-études (voir la section C). Le respect collectif de l'ensemble des règles de décision a déterminé le nombre total de paires appariées incluses à partir d'une étude donnée.

A. Méthode de tri fondée sur les aspects agronomiques et le dispositif expérimental

Cette méthode de tri fondée sur les pratiques agronomiques et le dispositif expérimental vise à faire en sorte que toutes les différences observées dans les teneurs en nutriments dans une paire appariée d'aliments puissent être attribuées avec un niveau de confiance élevé aux différences de systèmes de production plutôt qu'à tout autre facteur, voire simplement au hasard.

Chaque paire appariée de champs comprend un champ géré de manière « conventionnelle » et un autre géré de manière « biologique ». En principe, les deux champs sélectionnés pour former la paire appariée ont été exploités selon un niveau de compétence comparable afin d'éliminer, ou du moins de réduire au minimum l'incidence possible sur la valeur nutritive du caractère opportun et de la précision avec lesquels les pratiques agricoles habituelles ont été exécutées (p. ex., travail du sol, distance de plantation, désherbage et gestion du couvert végétal s'il y a lieu). L'information présentée dans la plupart des études publiées permet rarement de déterminer dans quelle mesure cette condition a été respectée.

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	28

En général, la gestion des champs de culture conventionnelle devrait se faire au moyen de méthodes et d'intrants généralement appliqués dans la région concernée sur les fermes dont les exploitants n'aspirent pas à suivre, ou ne suivent pas un ensemble précis de pratiques ou de philosophies agricoles comme celles propres à l'agriculture biologique, biodynamique, écologique ou naturelle. En général, de telles fermes sont davantage spécialisées et dépendent de l'achat d'engrais chimiques et de pesticides de synthèse qui ont peu de chance d'être utilisés sur les fermes biologiques.

Deux facteurs sont utilisés dans la présente étude en vue d'évaluer la validité des champs de culture biologique inclus dans la paire appariée – soit la nature du système de production biologique et la période totale de gestion de type biologique. Une étude publiée doit fournir suffisamment de données pour permettre de déterminer si les pratiques utilisées dans un champ sont conformes aux normes nationales ou internationales de base et aux exigences en matière de production applicables à la production biologique ou si elles sont largement compatibles avec ces normes et exigences.

La période au cours de laquelle le champ a fait l'objet d'une gestion biologique continue constitue le second critère de classification. Les avantages liés à l'agriculture biologique reposent sur des modifications de la qualité des sols, du cycle des éléments nutritifs, de la biodiversité et de la dynamique de la lutte antiparasitaire, et ces modifications exigent du temps pour se réaliser pleinement. La méthode de tri fondée sur les pratiques agronomiques et le dispositif expérimental décrite ci-dessous a été mise au point en fonction des objectifs précis de cette étude.

Il est important de souligner que plusieurs études jugées « acceptables » ou de « qualité supérieure » en fonction des deux méthodes de tri de cette étude pourraient être jugées « non valides » à la lumière d'un ensemble de

méthodes de tri et de critères différents élaborés en réponse aux objectifs d'une autre étude.

La méthode de tri de cette étude comprend six critères :

- dispositif expérimental;
- type de sol et topographie des champs;
- variété des cultures et cultivar (génétique végétale);
- type d'étude;
- normes de culture biologique à appliquer;
- nombre d'années consécutives de gestion biologique.

Chaque combinaison étude-culture est jugée de qualité supérieure, acceptable ou non valide en fonction de ces six critères. Le tableau 3.1 présente le système de notation. Les combinaisons étude-culture qui ont obtenu douze points ou plus sur un total possible de 30 ont été jugées « acceptables » ou de « qualité supérieure » du point de vue de cette méthode de tri; la méthode de tri fondée sur les méthodes d'analyse a ensuite été appliquée à chacune des combinaisons valides.

Les résultats de la méthode de tri fondée sur les pratiques agronomiques et le dispositif expérimental appliquée aux 135 combinaisons étude-culture des 97 études publiées comprises dans cette analyse sont présentés à titre d'information additionnelle de ce rapport sur le site Web de l'Organic Center (http://www.organiccenter.org/sciencenutriphp?action=view&report_id=124). L'information additionnelle présente la classification et le nombre de points obtenus pour chacun des six critères, ainsi que le nombre total de points. Le tableau présentant la liste des combinaisons étude-culture se présente de deux manières : premièrement, études classées par ordre alphabétique, et, deuxièmement, études classées selon le nombre total de points obtenus.

Compte tenu des seuils pris en compte au tableau 3.1, 94 combinaisons étude-culture sont jugées valides car elles sont « acceptables » ou de « qualité supérieure », ce qui correspond à 70 % du nombre total de combinaisons. Les 41 autres combinaisons ont été classées comme « non valides » (total des points inférieur à 12).

Dispositif expérimental

Les études jugées « acceptables » ou de « qualité supérieure » comportent un dispositif expérimental reconnu associé à une méthode statistique appropriée pour tester les

différences de teneurs en éléments nutritifs. Il peut s'agir d'un dispositif aléatoire complet, d'un dispositif à blocs aléatoires complets, d'un dispositif en parcelles subdivisées, ou de termes connexes, servant à décrire la disposition des parcelles et la structure du dispositif de l'expérience.

Une étude peut être jugée « acceptable » si le dispositif des parcelles et la nature des réplicats sont décrits ou s'ils peuvent être dérivés de la section du document portant sur les matériaux et les méthodes.

Tableau 3.1

Système de notation fondé sur les pratiques agronomiques et le dispositif expérimental : critères et points accordés pour les études non valides, acceptables et de qualité supérieure, et fondement de la classification finale des études (maximum possible de 30 points)			
Critère	Non valide	Acceptable	Qualité supérieure
Dispositif expérimental	0	3	6
Type de sol et topographie	0	3	6
Variété de culture/cultivar	0	3	6
Type d'étude	0	2	4
Normes de culture biologique appliquées	0	2	4
Nombre d'années consécutives de production biologique	0	2	4
Classification globale des études fondée sur le nombre de points accordés pour les six critères	< 12	12 à 19	> 19

Certaines études ne comparent les valeurs nutritives des récoltes que pour un seul champ de culture biologique et un seul champ de culture conventionnelle. Même lorsque de multiples échantillons sont prélevés dans chacun des champs, ce type d'étude manque d'efficacité statistique du fait de l'absence de répétition indépendante, surtout lorsque les données ne sont recueillies que pour une seule année.

Les combinaisons étude-culture associées à une telle paire appariée sont jugées « acceptables » dans deux cas :

- premièrement, lorsque les données d'au moins deux années d'exploitation sont recueillies et que le dispositif expérimental est par ailleurs acceptable;
- deuxièmement, dans le cas d'une étude fondée sur les données d'une seule année, lorsqu'une méthode appropriée est utilisée pour le prélèvement aléatoire des échantillons de chaque champ et que l'information contenue au rapport de recherche montre clairement que les champs ont été gérés pendant au moins trois années d'une manière compatible

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	30

avec les pratiques conventionnelles et Les études de « qualité supérieure » sont celles pour lesquelles le dispositif des parcelles est bien défini, qui comptent au moins trois réplicats indépendants et qui comportent une explication claire de l'analyse statistique réalisée. (Le terme « indépendant » signifie que les échantillons sont prélevés dans des parcelles réparties au hasard, en un endroit différent ou au cours d'une autre année).



Type de sol et topographie

Une combinaison étude-culture donnée est jugée « non valide » si le type de sol ou la topographie des parcelles de culture biologique diffère considérablement de celui ou de celle des parcelles de culture conventionnelle, p. ex., présence de loam sableux dans les parcelles de culture biologique et de loam argileux dans celles de culture conventionnelle.

Dans les études jugées « acceptables », le type de sol et la topographie des parcelles de culture biologique sont similaires ou identiques à ceux des parcelles de culture conventionnelle. Les différences mineures touchant à la topographie du champ et à la classification et à la caractérisation du sol sont acceptables, dans la mesure où il n'y a aucune raison de prédire que les différences altéreront de manière importante la productivité du sol, les teneurs en éléments nutritifs des cultures et la capacité de rétention en eau du sol.

Dans les combinaisons étude-culture de « qualité supérieure », le type de sol et la topographie des parcelles de culture

biologiques propres à la région. biologique et des parcelles de culture conventionnelle sont pratiquement identiques, ce que corroborent des données pertinentes.

Culture et cultivar

Une combinaison étude-culture donnée est jugée « non valide » si la variété des cultivars à l'étude diffère entre les cultures biologiques et conventionnelles, ou lorsqu'aucune information concernant le génotype de plantes n'est fournie.

Dans les combinaisons étude-culture jugées « acceptables », de l'information pertinente doit être fournie pour déterminer si des cultivars identiques ou similaires ont été cultivés et récoltés dans les parcelles de culture biologique et conventionnelle. Dans les cultures pour lesquelles on pratique des greffes (généralement les cultures fruitières), le greffon doit posséder un génotype identique ou similaire pour les deux types de culture, alors que le génotype du porte-greffe peut varier.

En ce qui concerne les études de « qualité supérieure », ou les cultures de « qualité supérieure » à l'intérieur d'une étude, il faut utiliser des cultivars identiques pour les productions de types biologique et conventionnelle, y compris pour les greffons et les porte-greffes, dans le cas des cultures pour lesquelles on pratique des greffes.

Type d'étude

Il existe trois principaux types d'études comparant la valeur nutritive des aliments biologiques et des aliments conventionnels : études sur les achats d'aliments, expériences en centres de recherche et essais sur fermes commerciales. Dans les études d'achat d'aliments, les produits alimentaires conventionnels et biologiques sont achetés auprès de détaillants. Ces études ne fournissent généralement que de l'information incomplète, voire aucune information sur la variété des cultures ou les cultivars, sur le sol et sur les pratiques agricoles.

C'est la raison pour laquelle ce type d'étude est considéré comme « non valide » compte tenu de l'objectif de la présente étude. De telles études sont aussi presque toujours

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	31

jugées « non valides » en fonction des autres critères, et ne parviennent donc pas au seuil de douze points requis pour être jugées « acceptables » aux fins de la présente étude.

Les expériences en centre de recherche et les essais sur ferme commerciale sont classés comme « acceptables » ou de « qualité supérieure » dans la mesure où les systèmes de production et les méthodes d'agriculture utilisées sont jugés représentatifs des activités commerciales de la région concernée.

Les essais de « qualité supérieure » réalisés en centre de recherche et sur ferme commerciale utilisent des systèmes de production bien définis qui reflètent étroitement les systèmes, les tactiques et les pratiques de production commerciale contemporains.

Normes de culture biologique appliquées

Des combinaisons étude-culture et parfois des études entières sont jugées « non valides » dans les cas suivants :

- l'information fournie ne permet pas de déterminer si un ensemble défini ou type de normes biologiques nationales ou internationales a été appliqué;
- un intrant ou une pratique de production utilisé est incompatible avec les normes et les exigences biologiques nationales ou internationales largement acceptés.

Les combinaisons étude-culture « acceptables » concernent des champs de culture biologique qui, selon les auteurs, ont été gérés conformément à un ensemble de normes biologiques reconnues ou de normes équivalentes ou plus strictes encore (p. ex., celles propres à l'agriculture biodynamique), dans l'hypothèse où n'a été rapportée aucune information soulevant des doutes quant à la mesure selon laquelle les pratiques d'agriculture biologique largement acceptées ont été réellement appliquées.

Les études de « qualité supérieure » portent sur des champs qui ont été gérés conformément aux normes de production biologique nationales ou internationales reconnues et qui ont été certifiés biologiques par un tiers indépendant, ou qui ont été décrits avec suffisamment de détails pour

appuyer un jugement à l'effet qu'ils auraient sans doute été admissibles aux fins de certification.

Nombre d'années de gestion biologique

Une combinaison étude-culture est jugée « non valide » si le ou les champs biologiques ont fait l'objet d'une gestion biologique continue durant moins de quatre ans, la seule exception à cette règle étant décrite ci-dessous. Les études « acceptables » portent sur des champs biologiques qui ont fait l'objet d'une gestion biologique durant au moins quatre ans, période incluant toute année de transition des pratiques conventionnelles vers des pratiques biologiques. Un champ biologique récemment converti à partir d'une jachère ou d'un pâturage peut être classé comme « acceptable » après deux années continues de gestion biologique certifiée, dans la mesure où le champ n'a ni bénéficié ni fait l'objet d'un intrant ou d'une pratique interdite durant au moins deux années avant sa conversion.

Les études de « qualité supérieure » portent sur des champs de culture biologique soumis à une gestion biologique continue durant au moins deux cycles de rotation complets, ou, s'il s'agit de cultures vivaces, durant au moins quatre années de production biologique certifiée après la transition à partir d'un autre système de production. Les études qui ne fournissent pas l'information nécessaire pour évaluer la durée au cours de laquelle un champ donné a fait l'objet d'une gestion biologique sont classées comme « non valides ».

B. Méthode de tri fondée sur les méthodes d'analyse

La plupart des études comparatives évaluent un large éventail de paramètres nutritionnels dont les macronutriments (protéines, lipides et fibres), les vitamines, les minéraux, les antioxydants et les flavonoïdes individuels, et les composés phénoliques totaux et la capacité antioxydante totale. La validité de ces méthodes a été évaluée, et elles ont été classées comme « non valides », « acceptables » ou de « qualité supérieure ». De tels jugements ont été posés pour chacune des méthodes utilisées pour

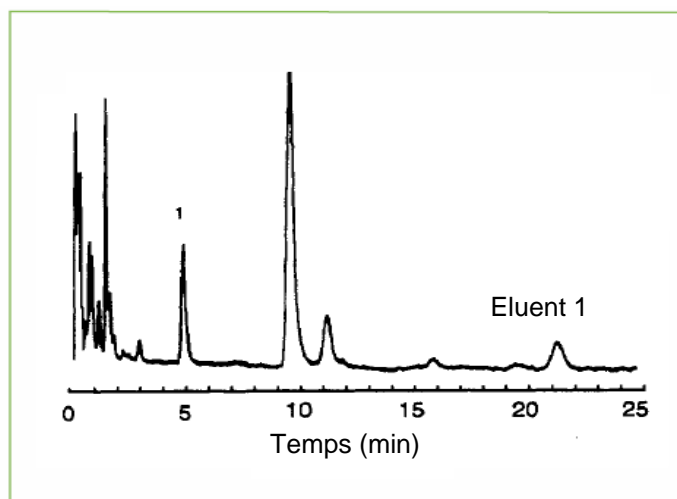
mesurer la teneur d'un nutriment donné dans une combinaison étude-culture. Les méthodes non précisées, non documentées ou mal définies sont classées comme « non valides ».

Lorsque les auteurs disent avoir utilisé une méthode publiée, et qu'une référence valide est donnée pour la méthode en question, le document auquel il est fait référence est trouvé et examiné afin de déterminer si la méthode a été correctement décrite et validée.

Une méthode est classée comme « acceptable », à moins que des données rapportées dans une étude ne soulèvent des doutes quant à son exactitude ou à la cohérence de son application au fil du temps.

Par exemple, les chromatographies de méthodes faisant état de résultats de séparation par chromatographie liquide à haute performance (CLHP) ont été examinées pour évaluer les résolutions de séparation et de référence. Les pics correspondant aux composés individuels devraient être bien séparés, avec séparation de référence et séparation temporelle adéquates par rapport aux pics des autres composés. Il ne devrait y avoir aucun pic endogène entraînant une surestimation des calculs de concentration liés aux pics d'intérêt.

Figure 3.1



Chromatographie de haute qualité représentative produite par des méthodes d'analyse jugées de « qualité supérieure » (tirée de Hertog et coll., 1992).

La figure 3.1 offre un exemple d'une telle chromatographie de qualité supérieure. Cette méthode de séparation par CLHP des flavonoïdes a été employée par Lombardi-Boccia et coll. (2004) dans leur étude de la prune jaune. À noter les résolutions de référence des pics 1 (lutéoline) et 2 (apigénine) et l'absence de pic d'interférence. Les auteurs ont correctement fait état d'un pourcentage de coefficient de variation (c.v.) < 12 % et d'un taux de récupération > 88 % (Hertog et coll., 1992).

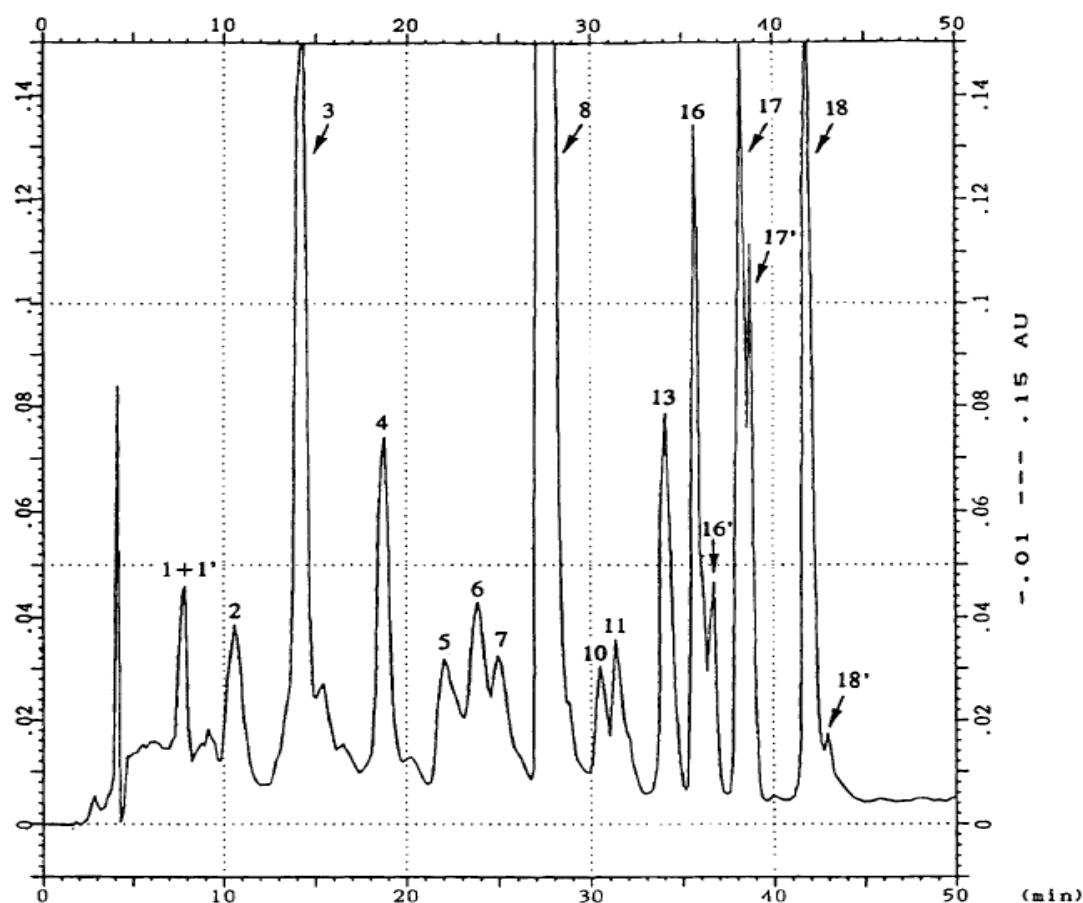
La figure 3.2 présente une chromatographie obtenue par une méthode jugée « non valide ». La méthode des caroténoïdes ayant servi à produire la chromatographie de la figure 3.2 a aussi été utilisée dans l'étude de la prune jaune réalisée par Lombardi-Boccia et coll. (2004). À noter que les pics 16 et 16' (trans- et cis-b-carotènes, respectivement) ne sont pas séparés. La résolution est faible pour la plupart des autres caroténoïdes (absence de résolution de référence), et, en outre, il y a élution d'autres composés d'intérêt en des points similaires le long de la ligne temporelle.

Cette particularité de la chromatographie rend impossible de quantifier avec précision et fiabilité la concentration des composés associés à ces pics combinés et chevauchants (voir les pics 5, 6 et 7). De plus, les auteurs signalent un c.v. atteignant jusqu'à 32 %, ce qui est synonyme de variabilité élevée et d'absence de reproductibilité (Tonucci et coll., 1995).

Les chromatographies caractérisées par une résolution de référence des pics d'intérêt et par l'absence de pics endogènes et de pics chevauchants sont considérées comme « acceptables ».

Pour qu'une méthode soit jugée de « qualité supérieure », elle doit se caractériser par un c.v. ou par un écart-type résiduel inférieur à 16 % et par des valeurs de centile de biais inférieures à 12 %, ou par des paramètres similaires indiquant une reproductibilité et une précision adéquates.

Figure 3.2



Chromatographie représentative présentant suffisamment de problèmes pour qualifier la méthode d'analyse de « non valide » (tirée de Tonucci et coll., 1995)

Les variantes des méthodes publiées sont souvent utilisées pour quantifier les composés phénoliques et antioxydants individuels. Les variantes des méthodes publiées qui ont été validées seront considérées comme « acceptables », dans la mesure où le document ne comporte aucune preuve laissant croire à un manque de précision ou de résolution de la méthode modifiée (c.-à-d., des valeurs de c.v. et d'écart-type résiduel supérieures à 16 %, et des valeurs de centile de biais supérieures à 12 %).

Pour qu'une méthode soit jugée de « qualité supérieure », elle doit se caractériser par une résolution de référence et par l'absence de pics endogènes et de pics chevauchants. Elle doit aussi être validée et permettre d'obtenir des valeurs de c.v. et d'écart-type résiduel inférieures à 16 % et des valeurs de centile

de biais inférieures à 12 %, ou des paramètres similaires indiquant une reproductibilité et une précision adéquates. La quantification des composés phénoliques totaux est « acceptable » si la méthode est publiée, validée et largement utilisée, comme c'est le cas pour la méthode Folin-Ciocalteu. Une méthode axée sur les composés phénoliques totaux est jugée de « qualité supérieure » si les taux de variabilité sont relativement faibles (écart-type inférieur à 15 %, erreur-type inférieure à 12 %).

En ce qui concerne l'activité antioxydante totale, il existe de multiples méthodes, chacune présentant plusieurs variantes. Ces méthodes sont jugées « acceptables » si elles font état d'une fiabilité adéquate (écart-type inférieur à 15 %, erreur-type inférieure à 12 %). Les méthodes de « qualité

supérieure » axées sur l'activité antioxydante totale doivent aussi se caractériser par une variabilité relativement faible (écart-type inférieur à 15 %, erreur-type inférieure à 12 %) et par la présence dans les documents publiés d'information adéquate sur leurs modalités d'application ou d'essais connexes de fiabilité ou de variabilité analytique.

Résultats de la méthode de tri fondée sur les méthodes d'analyse

Le tableau 3.2 présente la liste des 55 combinaisons étude-culture-méthode d'analyse jugées « non valides » en fonction des critères établis par la méthode de tri fondée sur les méthodes d'analyse.

Tableau 3.2

Méthodes d'analyse jugées « non valides » pour des cultures et des nutriments précis		
Nutriment	Culture	Étude et année
Antioxydants totaux	Tomate	Pascale (2006)
Substances phénoliques individuelles	Pomme	Weibel (2000)
	Blé	Mazzoncini (2007)
	Vin	Tintunen (2001)
Flavonoïdes individuels	Purée de pomme	Rembalkowska (2007)
Caroténoïdes	Tomate	Pascale (2006)
	Tomate	Schulzova (2007)
	Bœuf	Walsh (2006)
	Prune jaune	Lombardi-Boccia (2004)
	Laitue	Rattler (2005)
Lycopènes	Tomate	Schulzova (2007)
Phosphores	Pomme	Weibel (2000)
Potassium	Pomme	Weibel (2000)
	Carotte	Rembalkowska (2003)
Minéraux	Pomme de terre, pois, oignon, chou, carotte	Fjelkner-Modig (2000)
	Tomate	Premuzio (1998)
Vitamines	Pomme de terre, chou	Ruthovieve (1997)
	Tomate	Schulzova (2007)
Vitamine C	Pêche, poire	Carbonaro (2002)
	Pomme de terre, chou, carotte, oignon, pois	Fjekner-Modig (2000)
	Pomme de terre	Rembalkowska (1999)
	Pomme de terre, chou	Rutkoviene (1997)
	Tomate	Schulzova (2007)
	Pomme	Tarozzi (2004)
	Orange	Tarozzi (2005)
	Pomme	Weibel (2000)
Protéines	Pomme de terre, betterave rouge, blé, carotte	Raupp (1997)
	Blé	Mazzoncini (2007)
	Bœuf	Walsh (2006)
Nitrates	Pois, carotte, chou, oignon, pomme de terre	Fjekner-Modig (2000)
	Betterave	Mader (1993)
	Multiplés	Malmauret (2002)
	Laitue	Rattler (2005)
	Pomme de terre	Rembalkowska (1999)
	Pomme de terre, carotte	Rembalkowska (2003)
	Légumes-feuilles	Sanchez (2005)

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	35

C. Valeurs aberrantes

Certaines études font état de « valeurs aberrantes » justifiant une évaluation particulière. Une valeur aberrante pour un nutriment donné est une valeur qui diffère de la moyenne des autres valeurs de manière substantielle, disons, par exemple, d'une valeur égale à deux écarts-types ou plus.

Par exemple, dans la plupart des études, les teneurs en vitamine C des échantillons biologiques et conventionnels analysés pour un aliment donné ne varient pas plus de 30 %, soit pour l'ensemble des échantillons conventionnel ou biologiques, ou entre les échantillons biologiques et conventionnels. Une étude fait toutefois état de deux teneurs en vitamine C de paires appariées qui diffèrent considérablement des autres valeurs.



Dans l'étude de Warman et coll. (1997; voir l'annexe 1 pour la bibliographie), la teneur en vitamine C de l'échantillon de chou biologique d'une paire appariée est 29 fois supérieure à celle de l'échantillon conventionnel, car cette dernière est environ 20 fois inférieure aux teneurs généralement observées pour le chou. Pour une seconde paire appariée de la même étude consistant cette fois en échantillons de carotte, la teneur en vitamine C de l'échantillon conventionnel est 29 fois supérieure à celle de l'échantillon biologique. Dans ce cas, c'est la teneur en vitamine C de la carotte de culture

conventionnelle qui dépasse de loin toute autre teneur en vitamine C rapportées pour la carotte (une valeur de 499, par comparaison à une fourchette de 17 à 34 dans quatre autres paires appariées de carottes).

Outre les deux paires appariées présentant des valeurs aberrantes pour les teneurs en vitamine C dans l'étude de Warman et coll., une valeur aberrante est rapportée pour l'antioxydant kaempférol dans une paire appariée de plants de chou (Ferrerres et coll., 2005). Dans ce cas, la teneur de l'échantillon biologique était 47 fois supérieure à celle de l'échantillon conventionnel, sans doute à cause des dommages considérables causés par les insectes aux feuilles extérieures du chou de culture conventionnelle.

Si cette paire appariée avait été retenue aux fins de comparaison inter-études des teneurs en kaempférol, le léger avantage au profit des échantillons biologiques des onze paires appariées (teneur d'environ 5 % supérieure) aurait été multiplié par un facteur de 4,9 pour l'ensemble des douze paires appariées.

La seule explication plausible pour une telle valeur est qu'une combinaison hautement inhabituelle de facteurs a eu une incidence sur les teneurs de la plante, ou que des erreurs se sont produites dans la préparation de l'échantillon ou dans l'analyse chimique.

L'existence d'une valeur aberrante entraîne une analyse plus approfondie des méthodes et des rapports de recherche afin de voir si les auteurs ont décrit tout facteur susceptible d'expliquer les aspects physiologiques à l'origine d'une telle valeur. En l'absence d'une explication plausible, la combinaison étude-culture-méthode ayant produit la valeur aberrante est considérée comme « non valide ».

D. Critères de sélection des paires appariées d'une étude aux fins d'inclusion dans des analyses inter-études

La plupart des études englobent des comparaisons de paires appariées multiples provenant de plusieurs endroits, ou soumises

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	36

à des pratiques de fertilité et de lutte antiparasitaire autres, et souvent échelonnées sur une période d'au moins deux ans. Certaines études comptent 20 comparaisons ou plus de teneurs en éléments nutritifs, alors que d'autres n'en comptent qu'une seule.

La présente étude a pour but de déterminer si la majorité des études publiées corroborent la conclusion selon laquelle les teneurs en éléments nutritifs des aliments biologiques

sont supérieures, inférieures ou égales à celles des aliments conventionnels. Nous avons élaboré un ensemble de critères et de règles de décision permettant de déterminer combien de résultats et quels résultats de paires appariées inclure à partir d'une étude donnée dans des comparaisons inter-études, et ce afin de réduire au minimum les biais des analyses inter-études fondées simplement sur le nombre de résultats rapportés dans une étude donnée.

Dix-sept règles ont orienté la sélection des paires appariées

Dix-sept règles de décision ont été formulées afin de déterminer quelles paires appariées tirées d'une étude donnée seraient sélectionnées pour être incluses dans des méta-analyses inter-études. Le respect de chacune de ces 17 règles permet globalement de déterminer combien de paires appariées, au total, sont tirées d'une étude donnée pour être incluses dans les analyses inter-études des différences de teneur pour un nutriment précis.

1. Si la recherche vise différents types de cultures, au moins une paire appariée de champs de chaque culture sera incluse dans les comparaisons inter-études des teneurs en nutriments.
2. Si des cultivars distincts sont plantés ou étudiés pour une culture donnée, une paire appariée de champs/résultats pour chaque cultivar sera incluse dans les comparaisons inter-études.
3. Si une valeur nutritive est mesurée à différentes étapes de croissance d'une plante, une paire seulement de données comparatives sera incluse de manière à refléter le stade de croissance le plus près du stade de maturité habituel au moment de la récolte. Si la récolte est habituellement consommée à deux stades distincts de croissance, une seconde paire de données peut être incluse.
4. Si une étude s'échelonne sur de nombreuses années et que les résultats des paires appariées sont rapportés de manière indépendante pour chaque année, une paire appariée de résultats correspondant à chacune des années sera incluse, à moins que les auteurs ne soulignent l'existence d'un ou de facteurs endogènes ayant une incidence sur les résultats d'une ou de plusieurs années données, facteurs qui soulèvent des interrogations quant à l'exactitude des résultats ou à la mesure selon laquelle ils reflètent les conditions de production habituelles. De tels cas inhabituels ne seront pas inclus dans les analyses inter-études. Dans les études pour lesquelles les résultats sont rapportés pour des années individuelles, ainsi que les moyennes pour l'ensemble des années combinées, les données sur les paires appariées issues des comparaisons se rapportant à l'ensemble des années seront utilisées.
5. Si l'étude est menée en différents endroits, une paire appariée provenant de chaque lieu sera incluse dans les comparaisons inter-études, à moins que les auteurs ne soulignent l'existence d'un ou de facteurs endogènes ayant une incidence sur les résultats obtenus pour un endroit et qui soulèvent des interrogations quant à l'exactitude des résultats ou à la mesure selon laquelle ils reflètent les conditions de production habituelles.
6. Si plusieurs traitements biologiques ou conventionnels font l'objet d'une étude, la paire appariée choisie doit correspondre aux traitements biologiques ou conventionnels les plus courants.

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	37

7. Si les traitements biologiques, biodynamiques, à faible apport d'intrants, intégrés et conventionnels sont tous étudiés, seules les paires appariées se rapportant aux systèmes biologiques et conventionnels seront incluses aux fins d'évaluation des différences entre les paramètres nutritionnels entre les études.

8. Dans les études qui ne comptent pas de champs classés comme « conventionnels », d'autres termes seront acceptés comme équivalents fonctionnels du terme « conventionnel », dans la mesure où l'information rapportée corrobore le jugement à l'effet duquel le système utilise des intrants, des pratiques et des tactiques comparables à ceux utilisés dans la plupart des fermes conventionnelles de la région.

9. Dans les études qui ne comptent pas de champs classés comme « biologiques », d'autres termes seront acceptés comme équivalents fonctionnels du terme « biologique », dans la mesure où l'information rapportée corrobore le jugement à l'effet duquel le système utilise des intrants, des pratiques et des tactiques comparables à ceux utilisés par les systèmes biologiques conformes aux normes nationales ou internationales définies et reconnues.

10. Si différentes formes d'aliments sont évaluées, p. ex., aliments frais, congelés ou séchés, des paires appariées d'aliments frais (ou de la forme la moins transformée) seront sélectionnées aux fins de comparaison de teneurs en éléments nutritifs entre les études.

11. Si une étude fait état de résultats pour des aliments entreposés dans des conditions différentes pour différentes périodes, les paires appariées incluses dans les analyses inter-études devront être entreposées de la même manière et tout au moins pour la même durée.

12. Lorsque différentes technologies ou températures d'entreposage sont utilisées, la paire appariée choisie pour les analyses inter-études devra être celle la plus susceptible de conserver les profils nutritionnels présents au moment de la récolte. En général, l'entreposage à des températures plus fraîches retarde le mûrissement et l'altération des aliments, et devrait donc mieux préserver les nutriments présents dans les aliments au moment de la récolte.

13. Si les résultats sont rapportés pour des cultures cultivées au champ et en serre, mais dans des conditions par ailleurs similaires, les résultats pour la paire appariée cultivée au champ seront utilisés.

14. Si une étude fait état de résultats pour des jus pasteurisés et non pasteurisés, les résultats obtenus pour les jus non pasteurisés seront utilisés. Autrement, les résultats obtenus pour les jus pasteurisés peuvent être intégrés aux analyses inter-études.

15. Si des sources multiples de nutriments d'origine végétale sont utilisées dans différentes parcelles (p. ex., fumier de vache brut, compost, fientes de poulet granulées dans les champs de culture biologique), les paires appariées provenant d'une telle étude devraient refléter la source de nutriments la plus courante ou habituelle utilisée dans les systèmes de production concernés.

16. Lorsque deux taux différents d'azote sont utilisés dans une expérience, la paire appariée associée au taux supérieur sera utilisée aux fins de comparaisons inter-études. Si trois taux sont utilisés, le taux moyen doit être choisi. Si quatre taux ou plus sont utilisés, celui se rapprochant le plus du taux moyen doit être sélectionné.

17. Certaines études font état de multiples formes racémiques ou glycosides d'un nutriment donné. Lorsque les teneurs en nutriments de toutes les formes sont combinées en un estimé de la teneur en éléments nutritifs « totale », cette valeur est utilisée pour comparer les teneurs en éléments nutritifs de la paire appariée. Lorsqu'aucune teneur totale ou combinée n'est rapportée, les résultats obtenus pour la forme du nutriment présentant la teneur la plus élevée pour l'échantillon biologique ou conventionnel de la paire appariée seront intégrés aux analyses inter-études.



Raison d'être de ces 17 critères

La logique inhérente à ces 17 règles est simple. Cette étude s'intéresse avant tout aux aliments biologiques et conventionnels sous leur forme la moins transformée pour laquelle des données sur la valeur nutritive sont disponibles. Lorsque, pour une étude donnée, nous devons choisir entre de multiples paires appariées représentant des combinaisons multiples de pratiques agronomiques, nous n'avons retenu que les paires reflétant les pratiques biologiques et conventionnelles les plus courantes.

Lorsqu'une étude faisait état de multiples formes de nutriments, nous avons recherché les paires appariées qui reflétaient la forme principale. Lorsque de multiples méthodes étaient utilisées pour faire état des résultats,

nous avons choisi la méthode qui reflétait le résumé le plus global des conclusions d'une étude donnée. Bref, nous avons sélectionné les paires appariées qui, ensemble, reflétaient aussi fidèlement que possible les conditions d'agriculture commerciale habituelles et la consommation d'aliments frais peu de temps après la récolte.

Prises ensemble, ces règles de décision permettent d'éliminer, dans la mesure du possible, les facteurs susceptibles de rendre confuses, de masquer ou de fausser les différences réelles de teneurs en éléments nutritifs entre les aliments biologiques et conventionnels telles que rapportées dans ce corpus de publications.

V. Différences de valeur nutritive entre les aliments de culture biologique et ceux de culture conventionnelle

Les différences de valeur nutritive entre les échantillons d'aliments biologiques et d'aliments conventionnels des 236 paires appariées ont été évaluées pour onze nutriments. À chaque nutriment étaient associées au moins huit paires appariées valides, et jusqu'à 46 paires dans le cas de l'acide ascorbique/vitamine C. Voici les nutriments en question :

- quatre mesures d'antioxydants et composés phénoliques totaux;
- trois vitamines;
- deux minéraux;
- protéines totales;
- nitrates (des teneurs élevées sont indicatives de risque accru en matière de sécurité alimentaire; de faibles teneurs sont considérées comme bénéfiques sur le plan nutritionnel).

Les mesures d'antioxydants comprennent les composés phénoliques totaux, la capacité antioxydante totale et la quercétine et le kaempférol (des polyphénols).

Les trois vitamines visées sont la vitamine C/acide ascorbique, la bêta-carotène (précurseur de la vitamine A) et la vitamine E (alpha-tocophérol). Les deux minéraux sont le potassium et le phosphore.

Pour chaque nutriment, nous avons sélectionné toutes les combinaisons étude-culture qui satisfaisaient à la méthode de tri fondée sur les pratiques agronomiques et le dispositif expérimental, à la méthode de tri fondée sur les méthodes d'analyse et aux critères de sélection des paires appariées. Toutes les paires appariées satisfaisant à ces critères ont été inscrites dans un tableau indiquant l'étude, la culture, le cultivar, l'année d'étude et la forme d'aliment soumise aux essais, ainsi que la teneur en éléments nutritifs de l'échantillon biologique de chaque paire appariée, et celle de l'échantillon conventionnel.

Nous avons ensuite calculé le ratio entre la teneur en éléments nutritifs de l'échantillon biologique et celle de l'échantillon conventionnel. Les valeurs de ratio supérieures à un indiquent une teneur en éléments nutritifs supérieure pour l'échantillon biologique, et vice versa. Pour terminer, nous avons établi la moyenne de ces ratios, que nous avons utilisée comme statistique sommaire fondamentale correspondant à la différence moyenne entre les échantillons biologiques et conventionnels pour un nutriment donné.

Les onze tableaux présentant les nutriments analysés dans le cadre de la présente étude ont été présentés sur le site Web du Centre à titre d'information additionnelle⁴. Les tableaux indiquent pour chacune des paires appariées l'étude, la culture, les teneurs, les ratios et des statistiques sommaires.

A. Comparaisons de la densité nutritionnelle des paires appariées valides

Les résultats de cette étude sont présentés de trois façons. Un ensemble de tableaux donne un aperçu du nombre de paires appariées pour lesquelles l'échantillon biologique présente une valeur supérieure pour un nutriment donné, et du nombre de paires pour lesquelles l'échantillon conventionnel présente une valeur supérieure.

D'autres tableaux présentent l'ampleur des différences de teneurs en éléments nutritifs : l'un présente les paires appariées pour lesquelles les échantillons d'aliments biologiques ont des teneurs supérieures, et un second, les échantillons d'aliments conventionnels ayant des teneurs supérieures. Chacun de ces deux tableaux indiquent le nombre de paires appariées pour

⁴ Pour accéder à cette « information additionnelle », consultez le Web à http://www.organic-center.org/science.nutri.php?action=view&report_id=124.

lesquelles les valeurs nutritionnelles sont

- 0 % à 10%;
- de 11 % à 20 %;
- de 31 % à 50 %;
- de 50 % ou plus.

Les différences moyennes de ratio pour l'ensemble des paires appariées pour un nutriment donné constituent une troisième méthode utilisée pour résumer les différences de densité nutritionnelle observées au cours de l'analyse.

Aperçu des différences

Nous avons relevé 191 paires appariées permettant des comparaisons valides des teneurs en antioxydants, en vitamines et en minéraux. Parmi elles, 119 échantillons biologiques des paires appariées présentaient des teneurs supérieures en

supérieures de :

éléments nutritifs, soit 62 % du nombre total de paires appariées. Les échantillons conventionnels présentaient des teneurs en éléments nutritifs supérieures dans 68 paires appariées, soit dans 36 % des cas, comme l'indique le tableau 5.1. Les teneurs en éléments nutritifs ont été déclarées égales pour 2 % des paires appariées.

Nous avons aussi analysé deux autres nutriments – soit les nitrates et les protéines. Parmi 18 paires appariées, la teneur en nitrates des échantillons conventionnels était supérieure dans 83 % des cas (aspect non souhaitable), alors que la teneur en protéines l'était dans 85 % des échantillons conventionnels de 27 paires appariées (aspect souhaitable). Ces différences sont illustrées au tableau 5.2.

Tableau 5.1

Aperçu des différences de teneur en éléments nutritifs des aliments biologiques et conventionnels de 191 paires appariées					
Nutriment	Nombre de paires appariées	Nombre d'échantillons biologiques de teneur supérieure	Nombre d'échantillons conventionnels de teneur supérieure	Pourcentage d'échantillons biologiques de teneur supérieure	Pourcentage d'échantillons conventionnels de teneur supérieure
Antioxydants					
Composés phénoliques totaux	25	18	6	72 %	24 %
Capacité antioxydante totale	8	7	1	88 %	13 %
Quercétine	15	13	1	87 %	13 %
Kaempférol	11	6	5	55 %	45 %
Vitamines					
Vitamine C/Acide ascorbique	46	29	17	63 %	37 %
Béta-carotène	8	4	4	50 %	50 %
Alpha-tocophérol (vitamine E)	13	8	5	62 %	38 %
Minéraux					
Phosphore	32	20	10	63 %	31 %
Potassium	33	14	19	42 %	58 %
Totaux et moyennes	191	119	68	62 %	36 %

Tableau 5.2

Différences des teneurs en nitrates dans 18 paires appariées et des teneurs en protéines dans 27 paires appariées					
Nutriment	Nombre de paires appariées	Nombre d'échantillons biologiques de teneur supérieure	Nombre d'échantillons conventionnels de teneur supérieure	Pourcentage d'échantillons biologiques de teneur supérieure	Pourcentage d'échantillons conventionnels de teneur supérieure
Nitrates	18	3	15	16,7 %	83,3 %
Protéines	27	4	23	14,8 %	85,2 %

Ampleur des différences

Les différences de teneurs en éléments nutritifs entre les aliments biologiques et les aliments conventionnels sont nettement plus importantes dans les paires pour lesquelles les aliments biologiques ont des teneurs supérieures. Le tableau 5.3 présente l'ampleur des différences pour les 119 paires appariées pour lesquelles les échantillons biologiques ont des teneurs supérieures, alors que le tableau 5.4 présente la même

information pour les paires appariées pour lesquelles les échantillons conventionnels ont des teneurs supérieures.

Pour les 119 paires appariées pour lesquelles les échantillons biologiques présentent des teneurs supérieures, l'ampleur des différences est de 21 % ou plus dans 42 % des cas. L'avantage nutritionnel en faveur des aliments biologiques est de 31 % ou plus dans presque le quart des cas.

Tableau 5.3

Ampleur des différences pour les 119 paires appariées pour lesquelles les aliments de culture biologique ont des teneurs en éléments nutritifs supérieures					
Nutriment	Nombre d'études pour lesquelles la teneur en éléments nutritifs des échantillons biologiques est supérieure à celle des échantillons conventionnels selon un rapport de —				
	0 à 10 %	11 à 20 %	21 à 30 %	31 à 50 %	Plus de 50 %
Antioxydants					
Composés phénoliques totaux	9	4	1	4	
Capacité antioxydante totale		3	2	1	1
Quercétine	2		3	1	7
Kaempférol	1	3	1		1
Vitamines					
Vitamine C/Acide ascorbique	3	14	7	3	2
Béta-carotène	1	1			2
Alpha-tocophérol (vitamine E)	3	2	1	1	1
Minéraux					
Phosphore	7	7	3	3	
Potassium	5	5	3	2	2
TOTAUX	31	39	20	14	15

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	42

Dans les 68 paires appariées pour lesquelles les échantillons conventionnels présentent une densité nutritionnelle supérieure, l'ampleur de la différence est de 21 % ou plus dans 15 % seulement des cas, et est supérieure à 31 % dans 6 % seulement des cas. De ce fait, l'ampleur de l'avantage nutritionnel des échantillons biologiques est de loin supérieure à celle des différences observées pour ces échantillons conventionnels présentant une teneur en éléments nutritifs supérieure.

Pareille observation est corroborée par l'examen de la catégorie présentant les différences de teneur en éléments nutritifs les moins importantes – de l'ordre de 0 % à 10 %. Vingt-six pour cent des paires appariées pour lesquelles les aliments biologiques présentent une teneur en éléments nutritifs supérieure appartiennent à cette catégorie, par comparaison à 66 % dans le cas des échantillons conventionnels de densité nutritionnelle supérieure à l'intérieur des paires appariées.

Dans le cas des nitrates, la même observation est évidente. L'ampleur des différences pour les 15 paires appariées favorisant les aliments biologiques (c.-à-d., des teneurs en nitrate inférieures) est très considérable. Six des 15 paires diffèrent de plus de 50 %, et douze autres favorisent les échantillons biologiques selon un rapport de 31 % ou plus, ce qui équivaut à 80 % de tous les cas, comme le montre le tableau 5.5.

Dans les trois paires appariées pour lesquelles les teneurs en nitrates sont supérieures dans les échantillons biologiques (non souhaitable sur le plan nutritionnel), la différence est de l'ordre de 1,1 % ou moins dans les trois cas, ce qui, en d'autres mots, équivaut à des teneurs pratiquement égales. Ces données aident à expliquer pourquoi les nitrates sont le seul nutriment cité dans les cinq analyses documentaires dont il a été question à la section III comme favorisant les aliments biologiques.

Tableau 5.4

Ampleur des différences pour les 68 paires appariées pour lesquelles les aliments de culture conventionnelle renferment des teneurs en éléments nutritifs supérieures

Nutriment	Nombre d'études pour lesquelles la teneur en éléments nutritifs des échantillons conventionnels est supérieure à celle des échantillons biologiques selon un rapport de —				
	0 à 10 %	11 à 20 %	21 à 30 %	31 à 50 %	Plus de 50 %
Antioxydants					
Composés phénoliques totaux	4	2			
Capacité antioxydante totale	1				
Quercétine	1				
Kaempférol	3		1		1
Vitamines					
Vitamine C/Acide ascorbique	11	2	4		0
Béta-carotène	3	1			
Alpha-tocophérol (vitamine E)	3	1		1	
Minéraux					
Phosphore	8	1	1		
Potassium	11	6		2	
TOTAUX	45	13	6	3	1

Les aliments conventionnels renferment manifestement, en moyenne, des teneurs en protéines supérieures, bien que l'ampleur des différences ne soit pas considérable. La teneur en protéines est de 0 à 20 % supérieure dans 83 % des paires appariées pour lesquelles les échantillons conventionnels contiennent davantage de protéines. Seule une paire appariée correspond à la catégorie « 31 à 50 % » (un échantillon d'aubergine pour lequel l'échantillon conventionnel présente une

teneur en protéines supérieure de 38 % à celle de l'échantillon biologique).

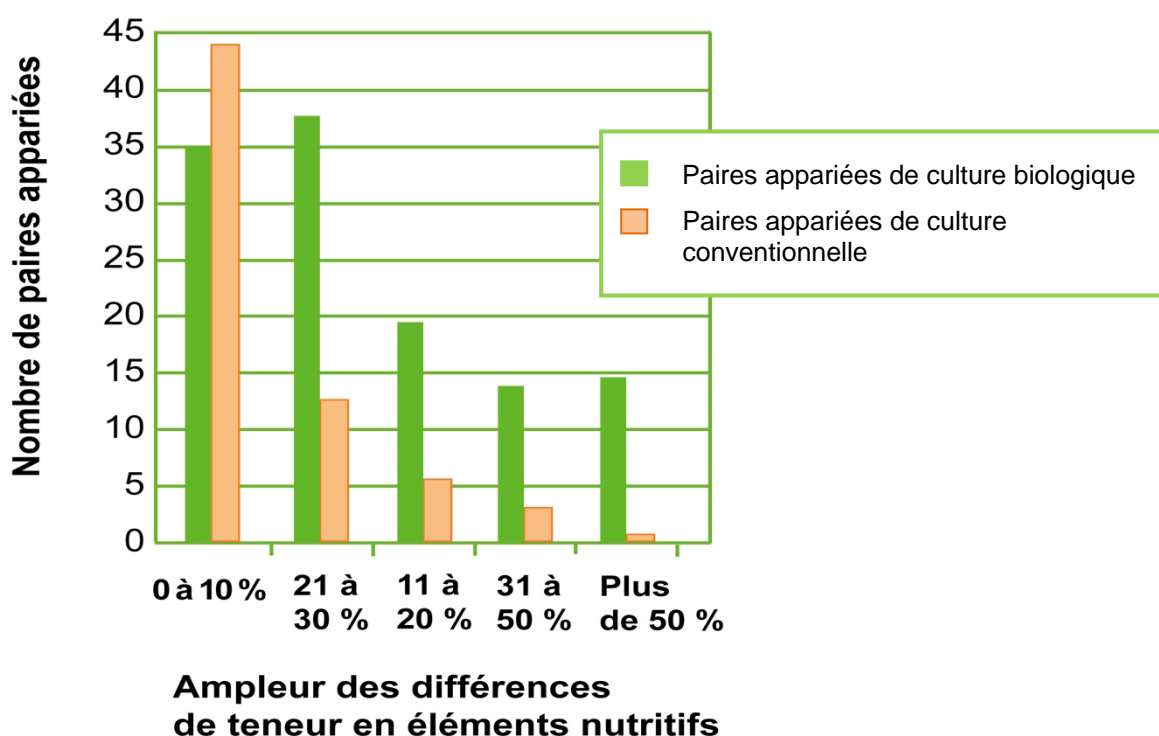
La figure 5.1 combine nos conclusions sur l'ampleur des différences de densité nutritionnelle de neuf antioxydants, vitamines et minéraux. Elle présente le nombre de paires appariées pour lesquelles la teneur en éléments nutritifs est supérieure pour les échantillons biologiques ou conventionnels, disposées selon l'ordre croissant des différences exprimées en pourcentage.

Tableau 5.5

Ampleur des différences pour les paires appariées pour lesquelles les aliments conventionnels présentent des teneurs supérieures en nitrates et en protéines					
Nutriment	Nombre d'études pour lesquelles les teneurs des aliments conventionnels sont supérieures à celles des aliments biologiques selon un rapport de —				
	0 à 10 %	11 à 20 %	21 à 30 %	31 à 50 %	Plus de 50 %
Nitrates	1	0	2	6	6
Protéines	9	10	3	1	0

Figure 5.1

Ampleur des différences de teneur en éléments nutritifs d'aliments de culture biologique et conventionnelle pour 189 paires appariées



Estimation des avantages nutritionnels

Pour chacun des neuf antioxydants, vitamines et minéraux en question, nous avons calculé pour chaque paire appariée le coefficient moyen des teneurs en éléments nutritifs des échantillons biologiques et des teneurs en éléments nutritifs des échantillons conventionnels. Les résultats sont résumés au tableau 5.6. Dans le cas des nitrates, pour lesquels des teneurs supérieures ne sont pas souhaitables, nous avons calculé l'avantage offert par les aliments biologiques en inversant les coefficients pour les 15 paires appariées.

Les échantillons biologiques des paires appariées présentent une densité

nutritionnelle supérieure pour huit des onze nutriments considérés. Les teneurs en protéines sont légèrement supérieures dans les échantillons conventionnels, alors que les teneurs en nitrates favorisent fortement les échantillons biologiques.

En ce qui concerne les deux nutriments pour lesquels les échantillons conventionnels présentent des teneurs supérieures (protéines et bêta-carotène), les différences ne sont en aucun cas supérieures à 10 %.

Les différences sont de l'ordre de 24 % ou plus en faveur des échantillons biologiques des paires appariées pour quatre nutriments (capacité antioxydante totale, quercétine, vitamine C/acide ascorbique et nitrates).

Tableau 5.6

Différences de teneur en éléments nutritifs des aliments biologiques et des aliments conventionnels pour 11 nutriments et 236 paires appariées		
Nutriment	Nombre de paires appariées	Coefficient moyen des teneurs (aliment biologique versus aliment conventionnel)
<u>Antioxydants</u>		
Composés phénoliques totaux	25	1,1
Capacité antioxydante totale	8	1,24
Quercétine	15	2,4
Kaempférol	11	1,05
<u>Vitamines</u>		
Vitamine C/Acide ascorbique	46	1,1
Béta-carotène	8	0,92
Alpha-tocophérol (vitamine E)	13	1,15
<u>Minéraux</u>		
Phosphore	32	1,07
Potassium	33	1
<u>Autres nutriments</u>		
Nitrate		
Protéines		
Nombre total de paires et coefficient moyen	236	1,25
Nota : Le coefficient des nitrates reflète l'ampleur de l'avantage nutritionnel des		

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	45

aliments biologiques, dont les teneurs en nitrates sont considérablement moindres.

B. Conclusions

En nous fondant sur les conclusions présentées ci-dessus, nous sommes en mesure de répondre aux deux questions fondamentales qui sont au cœur de cette étude :

Oui, les aliments biologiques d'origine végétale sont, en moyenne, davantage nutritifs du point de vue de leur densité nutritionnelle pour ce qui est des composés validés par la méthodologie rigoureuse présentée dans cette étude.

Les marges importantes en faveur des aliments biologiques pour plusieurs des nutriments les plus importants, et celles modestes en faveur des échantillons conventionnels en ce qui a trait à d'autres nutriments moins importants, corroborent les données à l'appui de cette conclusion.

Une portion moyenne d'aliment biologique d'origine végétale renferme environ 25 % plus des nutriments examinés dans cette étude qu'une portion de taille comparable du même aliment cultivé selon des méthodes de production conventionnelles.

Il s'agit essentiellement de la même marge en faveur des aliments biologiques rapportée dans le State of Science Review de 2005 de l'Organic Center pour les antioxydants.

Le nombre d'études et de paires appariées valides est encore trop limité pour permettre de quantifier avec un degré de confiance élevé les différences pour quatre ou cinq des onze nutriments individuels, bien que les données disponibles dans les études publiées semblent raisonnablement cohérentes dans le cas de la vitamine C, de la capacité antioxydante, des nitrates, de quelques polyphénols individuels et des protéines.

Compte tenu de l'augmentation importante du nombre d'études de qualité supérieure au cours des quelques dernières années (voir les tableaux 2.1 et 2.2), il existe à présent suffisamment d'études du genre portant sur une grande diversité d'aliments pour corroborer les conclusions générales énoncées ci-dessus concernant les teneurs en éléments nutritifs, du moins pour plusieurs

nutriments importants et, en moyenne, pour de multiples champs et régions productrices.

Nous croyons que les conclusions corroborées par cette étude sont généralement applicables à la plupart des produits alimentaires d'origine végétale biologiques et conventionnels frais ou légèrement transformés actuellement disponibles sur le marché. Nous devons toutefois limiter nos inférences et nos conclusions aux aliments d'origine végétale car la vaste majorité des études existantes portent essentiellement sur ce type d'aliments.

Il existe toutefois de solides indications à l'effet que la volaille et les animaux d'élevage qui consomment des aliments pour animaux et du fourrage produits ou cultivés selon des méthodes biologiques produisent en fait de la viande, du lait et des œufs :

- à teneur légèrement supérieure en protéines;
- à teneur supérieure en certains minéraux et vitamines;
- à teneurs élevées en omega-3 et en acide linoléique conjugué (ALC), tous deux bénéfiques pour la santé cardiaque.

L'Union of Concerned Scientists a récemment publié une analyse approfondie de plusieurs études pertinentes sur les incidences de l'agriculture biologique sur la teneur en acides gras des produits d'origine animale (Clancy, 2007).

Le FQH Network, un consortium d'équipes de recherche de l'Union européenne s'intéressant tout particulièrement aux aliments biologiques, vient aussi de publier une évaluation qui ne laisse pas indifférente sur la façon dont les aliments biologiques pour volaille améliorent la santé des poules et, dans bien des cas, la valeur nutritive des produits avicoles (Huber, 2007).

L'incidence des méthodes de production biologique et des aliments pour animaux biologiques sur la valeur nutritive des produits d'origine animale ne fait que commencer à bénéficier de la part des scientifiques de l'attention qu'elle mérite. Mais pour l'instant, nous limitons nos conclusions relatives à la supériorité nutritionnelle des aliments biologiques aux aliments d'origine végétale.

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	46

Annexe 1. Bibliographie des études utilisées pour la sélection des paires appariées

ABU, S., et A. SALEHA. « Studies on the effects of organic vs. inorganic form of nitrogen on the quality of okra », *J. Maharashtra Agr. Univ.*, vol. 17 (1992), p. 33-134.

AKCAY, Y.D., H.K. YLDRM, U. GUVENC et E.Y. SOZMEN. « The effects of consumption of organic and nonorganic red wine on low density lipoprotein oxidation and antioxidant capacity in humans », *Nutr. Res.*, vol. 24 (2004), p. 541-554.

AMODIO, M.L., G. COLELLI, J. HASEY et A.A. KADER. « A comparative study of composition and postharvest performance of organically and conventionally grown kiwifruits », *J. of the Science of Food and Agriculture* (sous presse), 2007.

ASAMI, D.K., Y.J. HONG, D.M. BARRETT et A.E. MITCHELL. « Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry, and corn grown using conventional, organic, and sustainable agricultural practices », *J. Agr. Food Chem.*, vol. 51 (2003), p. 1237-1241.

BAXTER, G.J., A.B. GRAHAM, J.R. LAWRENCE, D. WILES et J.R. PATERSON. « Salicylic acid in soups prepared from organically and non-organically grown vegetables », *European J. Nutr.*, vol. 40 (2001), p. 289-292.

BERGAMO, P., E. FEDELE, L. IANNIBELLI et G. MARZILLO. « Fat-soluble vitamin contents and fatty acid composition in organic and conventional Italian dairy products », *Food Chem.*, vol. 82 (2003), p. 625-631.

CARBONARO, M., M. MATTERA, S. NICOLI, P. BERGAMO et M. CAPPELLONI. « Modulation of antioxidant compounds in organic vs conventional fruit (peach *Prunus persica* L., and pear, *Pyrus communis* L.) », *J. Agr. Food Chem.*, vol. 50 (2002), p. 5458-5462.

CARIS-VEYRAT, C., M.J. AMIOT, V. TYSSANDIER, D. GRASSELLY, M. BURET, M. MIKOLAJCZAK, J.C. GUILLAND, C. BOUTELOUP-DEMANGE et P. BOREL. « Influence of organic versus conventional agricultural pratique on the antioxidant microconstituent content of tomatoes and derived purees; Consequences on antioxidant plasma status in humans », *J. gr. Food Chem.*, vol. 52 (2004), p. 6503-6509.

CAYUELA, J.A., J.M. VIDUEIRA, M.A. ALBI et F. GUTIERREZ. « Influence of the ecological cultivation of strawberries (*Fragaria_ Ananassa* cv. Chandler) on the quality of the fruit and on their capacity for conservation », *J. Agr. Food Chem.*, vol. 45 (1997), p. 1736-1740.

CURUK, S., T. SERMENLI, K. MAVI et F. EVRENDILEK. « Yield and fruit quality of watermelon (*Citrullus lanatus* (Thumb.) matsum. & nakai.) and melon (*Cucumis melo* L.) under protected organic and conventional farming systems in a Mediterranean region of Turkey », *Bio Agr. Hort.*, vol. 22 (2004), p. 173-183.

DANI, C., L.S. OLIBONI, R. VANDERLINDE, D. BONATTO, M. SALVADOR et J.A.P. HENRIQUES. 2007, *Food and Chemical Toxicology*, vol. 45 (2007), p. 2574-2580.

DEELL, J.R., et R.K. PRANGE. « Postharvest physiological disorders, diseases and mineral concentrations of organically and conventionally grown McIntosh and Cortland apples », *Revue canadienne de phytotechnie*, vol. 73 (1993), p. 223-230.

DIMBERG, L.H., C. GISSÉN et J. NILSSON. « Phenolic compounds in oat grains (*Avena sativa* L.) grown in conventional and organic systems », *Ambio*, vol. 34 (2005), p. 331-337.

EGGERT, F.P. « Effect of soil management practices on yield and foliar nutrient concentration of dry beans, carrots, and tomatoes », p. 247-259, dans W. Lockeretz (éd.), *Environmentally sound agriculture: selected papers, 4th Conference, International Federation of Organic Agriculture Movements*, 20 août, Cambridge, MA, 1983.

EGGERT, F.P., et C.L. KAHRMANN. « Response of three vegetable crops to organic and inorganic nutrient sources », *ASA Amer. Soc. of Agr. – Publication spéciale*, n° 46 (1984), p. 97-109.

EL SHEIKH, E.A.E., et A.A. EL ZIDANY. « Effect of Rhizobium inoculation, organic and chemical fertilizers on proximate composition, in vitro protein digestibility, tannin and sulphur content of faba beans », *Food Chem.*, vol. 59 (1997), p. 41-45.

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	47

EPENDORFER, W.H., et B.O. EGGUM.
« Fertilizer effects on yield, mineral and amino acid composition, dietary fiber content and nutritive value of leeks », *Plant Foods Hum. Nutr.*, vol. 49 (1996), p. 163-174.

EVERS, A.M. « Effects of different fertilization practices on the carotene content of carrot », *J. Agr. Sci. Finland*, vol. 61 (1989), p. 7-14.

FERRERES, F., P. VALENTÃO, R. LLORACH, C. PINHEIRO, L. CARDOSO, J.A. PEREIRA, C. SOUSA, R.M. SEABRA et P.B. ANDRADE.
« Phenolic compounds in external leaves of tronchuda cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *costata* DC) », *J. Agr. Food Chem.*, vol. 53 (2005), p. 2901-2907.

FJELKNER-MODIG, S., H. BENGTSSON, R. STEGMARK et S. NYSTROM. « The influence of organic and integrated production on nutritional, sensory and agricultural aspects of vegetable raw materials for food production », *Acta Agric. Scan., section B, Soil Plant Sci.*, vol. 50 (2000), p. 102-113.

GRANSTEDT, A., et L. KJELLENBERG. « Long-term field experiment in Sweden: Effects of organic and inorganic fertilizers on soil fertility and crop quality », 1997, p. 79-90, dans W. Lockeretz (éd.), *Agricultural Production and Nutrition, Proceedings of an International Conference*, Tufts University School of Nutrition Science and Policy, 19 au 21 mars, Boston, MA.

GRINDER-PEDERSEN, L., S.E. RASMUSSEN, S. BÜGEL, L.V. JØRGENSEN, L.O. DRAGSTED, V. GUNDERSEN et B. SANDSTROM. « Effect of diets based on foods from conventional versus organic production on intake and excretion of flavonoids and markers of antioxidative defense in humans », *J. Agr. Food Chem.*, vol. 51 (2003), p. 5671-5676.

GUTIERREZ, F., T. ARNAUD et M.A. ALBI.
« Influence of ecological cultivation on virgin olive oil quality », *J. Amer. Oil Chem. Soc.*, 76 (1999), p. 617-621.

HAJSLOVA, J., V. SCHULZOVA, P. SLANINA, K. JANNE, K.E. HELLENAS et C. ANDERSSON.
« Quality of organically and conventionally grown potatoes: four-year study of micronutrients, metals, secondary metabolites, enzymic browning and organoleptic properties », *Food Add. Contam.*, vol. 22 (2005), p. 514-534.

HAKALA, M., R. TAHVONEN, R. HUOPALAHTI, H. KALLIO et A. LAPVETELAINEN. « Quality factors of Finnish strawberries », *Acta Hort.*, vol. 567 (2002), p. 727-730.

HÄKKINEN, S.H., et A.R. TÖRRÖNEN. « Content of flavonols and selected phenolic acids in strawberries and *Vaccinium* species: influence of cultivar, cultivation site and technique », *Food Res. Intl.*, vol. 33 (2000), p. 517-524.

HANSEN, H. « Comparison of chemical composition and taste of biodynamically and conventionally grown vegetables », *Qual. Planta _Plant Foods Human Nutr.*, vol. 30 (1981), p. 203-211.

HARDER, L., L.P. CHRISTENSEN, B.T. CHRISTENSEN et K. BRANDT. « Contents of flavonoids and other phenolics in wheat plants grown with different levels of organic fertilizer », *Polyphenols Communications*, vol. 98 (1998), p. 495-496.

HOGSTAD, S., E. RISVIK et K. STEINSHOLT.
« Sensory quality and chemical composition in carrots: A multivariate study », *Acta Agr. Scan., section B, Soil Plant Sci.*, vol. 47 (1997), p. 253-264.

HUKKANEN, A.T., T.P. MIKKONEN, K.R. MAATTA, A.R. TORRONEN, S.O. KARENLAMPI, H.I. KOKKO et R.O. KARJALAINEN. « Variation in flavonol content among blackcurrant cultivars », *Acta Hort.*, vol. 585 (2002), p. 121-124.

ISHIDA, B.K., et M.H. CHAPMAN. « A comparison of carotenoid content and total antioxidant activity in catsup from several commercial sources in the United States », *J. Agr. Food Chem.*, vol. 52 (2004), p. 8017-8020.

JORHEM, L., et P. SLANINA. 2000. « Does organic farming reduce the content of Cd and certain other trace metals in plant foods? A pilot study », *J. Sci. Food Agr.*, vol. 80 (2000), p. 43-48.

LAIRON, D., N. SPITZ, E. TERMINE, P. RIBAUD, H. LAFONT et J. HAUTON. « Effect of organic and mineral nitrogen fertilization on yield and nutritive value of butterhead lettuce », *Qual. Planta _Plant Foods Human Nutr.*, vol. 34 (1984), p. 97-108.

LECLERC, J., M.L. MILLER, E. JOLIET et G. ROCQUELIN. 1991. « Vitamin and mineral contents of carrot and celeriac under mineral or organic fertilization », *Biol. Agr. Hort.*, vol. 7 (1991), p. 349-361.

LOMBARDI-BOCCIA, G., M. LUCARINI, S. LANZI, A. AGUZZI et M. CAPPELLONI.
« Nutrients and antioxidant molecules in yellow plums (*Prunus domestica* L.) from conventional and organic productions: a comparative study ». *J. Agr. Food Chem.*, vol. 52 (2004), p. 90-94.

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	48

LUCARINI, M., M. CARBONARO, S. NICOLI, A. AGUZZI, M. CAPPELLONI, S. RUGGERI, G. DI LULLO, L. GAMBELLI et E. CARNOVALE. *Endogenous markers for organic versus conventional plant products. Session VI Quality assessment. Agri-Food Quality II: Quality management of fruits and vegetables*, 2005, p. 306-310.

LUMPKIN, H.M. « A comparison of lycopene and other phytochemicals in tomatoes grown under conventional and organic management systems », *Tech Bulletin AVRDC*, 2005, p. 34 et 48.

MADER, P., L. PFIFFNER, U. NIGGLI, U. BALZER, F. BALZER, K. PLOCHBERGER, A. VELIMIROV et J.M. BESSON. « Effect of three farming systems (bio-dynamic, bio-organic, conventional) on yield and quality of beetroot (*Beta vulgaris* L. var. *esculenta* L.) in a seven year crop rotation », *Acta Hort.*, vol. 339 (1993), p. 10-31.

MALUSÀ, E., E. LAURENTI, E. GHIBAUDI et L. ROLLE. « Influence of organic and conventional management on yield and composition of grape cv. 'Grignolino' », *Acta Hort.*, vol. 640 (2004), p. 135-141.

MEIER-PLOEGER, A., R. DUDEN et H. VOGTMANN. « Quality of food plants grown with compost from biogenic waste », *Agr. Ecosys. Environ.*, vol. 27 (1989), p. 483-491.

MERCADANTE, A.Z., et D.B. RODRIGUEZ-AMAYA. 1991. « Carotenoid composition of a leafy vegetable in relation to some agricultural variables », *J. Agr. Food Chem.*, vol. 39 (1991), p. 1094-1097.

MIKKONEN, T.P., K.P. MAATTA, A.T. HUKKANEN, H.I. KOKKO, A.R. TORRONEN, S.O. KARENLAMPI et R.O. KARJALAINEN. « Flavonol content varies among black currant cultivars », *J. Agr. Food Chem.*, vol. 49 (2001), p. 3274-3277.

MITCHELL, A., Y.-J. HONG, E. KOH, D.M. BARRETT, D.E. BRYANT, R.F. DENSON et S. KAFFKA. « Ten-year comparison of the influence of organic and conventional crop management practices on the content of flavonoids in tomatoes », *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 55 (2007), p. 6154-6159.

MONTAGU, K.D., et K.M. GOH. « Effects of forms and rates of organic and inorganic nitrogen fertilisers on the yield and some quality indices of tomatoes (*Lycopersicon Esculentum* Miller) », *New Zealand J. Crop Hort. Sci.*, vol. 18 (1990), p. 31-37.

MOZAFAR, A. « Enrichment of some B vitamins in plants with application of organic fertilizers », *Plant Soil.*, vol. 167 (1994), p. 305-311.

MULLER, K., et J. HIPPE. « Influence of differences in nutrition on important quality characteristics of some agricultural crops », *Plant Soil.*, vol. 100 (1987), p. 35-45.

NØRBAEK, R., D.B.F. AABOER, I.S. BLEEG, B.T. CHRISTENSEN, T. KONDO et K. BRANDT. « Flavone C-glycoside, phenolic acid, and nitrogen contents in leaves of barley subject to organic fertilization treatments », *J. Agr. Food Chem.*, vol. 51 (2003), p. 809-813.

OGBADU, G.H., et J.P. EASMON. « Influence of inorganic and organic fertilizers on the chemical composition of three eggplant cultivars », *Tropical Sci.*, vol. 29 (1989), p. 237-246.

OLSSON, M.E., C.S. ANDERSSON, S. OREDSSON, R.H. BERGLUND et K.E. GUSTAVSSON. « Antioxidant levels and inhibition of cancer cell proliferation in vitro by extracts from organically and conventionally cultivated strawberries », *J. Agr. Food Chem.*, vol. 54 (2006), p. 1248-1255.

PASCALE, S.D., R. TAMBURRINO, A. MAGGIO, G. BARBIERI, V. FOGLIANO et R. PERNICE. « Effects of nitrogen fertilization on the nutritional value of organically and conventionally grown tomatoes », *Acta Hort.*, vol. 700 (2006), p. 107-110.

PECK, G.M., P.K. ANDREWS, J.P. REGANOLD et J.K. FELLMAN. « Apple orchard productivity and fruit quality under organic, conventional, and integrated management », *Hortscience*, vol. 41 (2006), p. 99-107.

PEREZ-LOPEZ, A.J., J.M. LOPEZ-NICOLAS, A. NUNEZ-DELICADO, F.M. DEL AMOR, et A.A. CARBONELL-BARRACHINA. « Effects of agricultural practices on color, carotenoids composition, and minerals contents of sweet peppers, cv. Almuden », *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 55 (2007), p. 8158-8164.

PERRETTI, G., E. FINOTTI, S. ADAMUCCIO, R.D. SERA et L. MONTANARI. « Composition of organic and conventionally produced sunflower seed oil », *J. Amer. Oil Chem Soc.*, vol. 81 (2004), p. 1119-1123.

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	49

PFEILSTICKER, K. « Quality of organic-grown food: An experimental multifactorial approach on different for example », p. 331-337, dans U. Kopke et D.G. Schulz (éd.), *Organic agriculture, a Key to a sound development and a sustainable environment. Proceedings of the 9th IFOAM Conference*, du 16 au 21 nov., Sao Paulo, Brésil, 1992.

PIMPINI, F., L. GIARDINI, M. BORIN et G. GIANQUINTO. « Effects of poultry manure and mineral fertilizers on the quality of crops », *J. Agr. Sci.*, vol. 118 (1992), p. 215-221.

PODWALL, D., J. LIPETZ et J.J. STEINBERG. « Variation in the deoxynucleotide composition between organic and nonorganic strawberries », *Ecotoxic. Environ. Safety*, vol. 44 (1999), p. 259-270.

PORRETTA, S. « Qualitative comparison between commercial "traditional" and "organic" tomato products using multivariate statistical analysis », *Acta Hort.*, vol. 376 (1994), p. 259-270.

PREMUZIC, Z., M. BARGIELA, A. GARCIA et A. IORIO. « Calcium, iron, potassium, phosphorus and vitamin C content of organic and hydroponic tomatoes », *HortScience*, vol. 33 (1998), p. 255-257.

RAUPP, J. « Examination of some microbiological and biochemical parameters and tests of product quality used in a long-term fertilization trial », *Amer. J. Altern. Agr.*, vol. 13 (1998), p. 138-144.

RAUPP, J. « Yield, product quality and soil life after long-term organic or mineral fertilization », p. 91-101, dans W. Lockeretz (éd.) *Agricultural Production and Nutrition*, Tufts University School of Nutrition Science and Policy, du 19 au 21 mars, Boston, MA, 1997.

REEVE, J.R., L. CARPENTER-BOGGS, J.P. REGANOLD, A.L. YORK, G. MCGOURTY et L.P. MCCLOSKEY. « Soil and winegrape quality in biodynamically and organically managed vineyards », *Amer. J. Enol. Viticul.*, vol. 56 (2005), p. 367-376.

REMBIALKOWSKA, E. « Comparison of the contents of nitrates, nitrites, lead, cadmium, and vitamin C in potatoes from conventional and ecological farms », *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, vol. 8/49, n° 4 (1999), p. 17-26.

REMBIALKOWSKA, E. « Organic farming as a system to provide better vegetable quality », *Proc. Int. Conf. Quality in Chains, Acta Hort.*, vol 604 (2003), ISHS, p. 473-479.

REMBIALKOWSKA, E., HALLMANN, E. et A. RUSACZONEK. *Influence of processing on bioactive substances content and antioxidant properties of apple puree from organic and conventional production in Poland*, 2007, p. 139-143.

REN, H., H. ENDO et T. HAYASHI. « Antioxidative and antimutagenic activities and polyphenol content of pesticide-free and organically cultivated green vegetables using water-soluble chitosan as a soil modifier and leaf surface spray », *J. Sci. Food Agr.*, vol. 81 (2001), p. 1426-1432.

REN, H., H. ENDO et T. HAYASHI. « The superiority of organically cultivated vegetables to general ones regarding antimutagenic activities », *Mutation Res.*, vol. 496 (2001), p. 83-88.

RYAN, M.H. J.W. DERRICK et P.R. DANN. « Grain mineral concentrations and yield of wheat grown under organic and conventional management », *J. Sci. Food Agr.*, vol. 84 (2004), p. 207-216.

SAMUEL, A.M., et J. EAST. « Organically grown wheat - the effect of crop husbandry on grain quality », *Aspects App. Bio.*, vol. 25 (1990), p. 199-208.

SCHULTZ, D.G., K. KOCH, K.H. KROMER et U. KOPKE. « Quality comparison of mineral, organic and biodynamic cultivation of potatoes: contents, strength criteria, sensory investigations, and picture-creating methods » p. 115-120, dans W. Lockeretz (éd.), *Agricultural Production and Nutrition. Proceedings of an International Conference*, Tufts University School of Nutrition Science and Policy, du 19 au 21 mars, Boston, MA, 1997.

SCHULZ, D.G., E. ZEDOW et U. KOPKE. « Determining the quality of organic produce: Extended quality parameters and quality index », p. 338-348, dans U. Kopke et D.G. Schulz (éd.), *Organic agriculture, a key to a sound development and a sustainable environment. Proceedings of the 9th IFOAM Conference*, du 16 au 21 nov., Sao Paulo, Brésil, 1992.

SCHULZOVA, V., J. HAJŠLOVA, J. GUZIUR et J.A. VELISEK. *Assessment of the quality of potatoes from organic farming. Agri-Food Quality II: quality management of fruits and vegetables from field to table*, p. 73-75, 1999.

SHIER, N.W., J. KELMAN et D.J. WHARTON. « A comparison of crude protein, moisture, ash and crop yield between organic and conventionally grown wheat », *Nutr. Reports Intern.*, vol. 30 (1984), p. 71-77.

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	50

SMITH, B.L. « Organic foods vs. supermarket foods: Element levels », *J. App. Nutr.*, vol. 45 (1993), p. 35-39.

SOUSA, C., P. VALENTÃO, J. RANGEL, G. LOPES, J.A. PEREIRA, F. FERRERES, R.M. SEABRA et P.B. ANDRADE. « Influence of two fertilization regimens on the amounts of organic acids and phenolic compounds of tronchuda cabbage (*Brassica oleracea* L. Var. *costata* DC) », *J. Agr. Food Chem.*, vol. 53 (2005), p. 9128-9132.

SRIKUMAR, T.S., et P.A. OCKERMAN. « The effects of organic and inorganic fertilization on the content of trace elements in cereal grains », *Food Chem.*, vol. 42 (1991), p. 225-230.

SRIKUMAR, T.S., et P.A. OCKERMAN. « The effects of fertilization and manuring on the content of some nutriment in potato (var. Provita) », *Food Chem.*, vol. 37 (1990), p. 47-60.

STARLING, W., et M.C. RICHARDS. « Quality of commercial samples of organically grown wheat », *Asp. Appl. Biol.*, vol. 36 (1993), p. 205-209.

STARLING, W., et M.C. RICHARDS. « Quality of organically grown wheat and barley », *Asp. Appl. Biol.*, vol. 25 (1990), p. 193-198.

STOREY, T., R. HOGAN et J. HUMPHREYS. « The growth, yield and quality of winter wheat and winter oats grown under an organic conversion regime », *Aspects App. Bio.*, vol. 36 (1993), p. 199-204.

TAROZZI, A., A. MARCHESI, G. CANTELLI-FORTI et P. HRELIA. « Cold-storage affects antioxidant properties of apples in Caco-2 cells », *J. Nutr.*, vol. 134 (2004), p. 1105-1109.

TAROZZI, A., S. HRELIA, C. ANGELONI, F. MORRONI, P. BIAGI, M. GUARDIGLI, G. CANTELLI-FORTI et P. HRELIA. « Antioxidant effectiveness of organically and non-organically grown red oranges in cell culture systems », *European J. Nutr.*, vol. 45 (2006), p. 152-158.

TEJADA, M., J.A. ESPEJO, C. BENITEZ et J.L. GONZALEZ. « Influence of organomineral fertilization on wheat yield and flour quality under dry conditions », *Agricultura Mediterranea*, vol. 125 (1995), p. 138-149.

TERMINE, E., D. LAIRON, B. TAUPIER-LETAGE, S. GAUTIER, R. LAFONT et H. LAFONT. « Yield and content in nitrates, minerals and ascorbic acid of leeks and turnips grown under mineral or organic nitrogen fertilizations », *Plant Foods. Hum. Nutr.*, vol. 37 (1987), p. 321-332.

TINTTUNEN, S., et P. LEHTONEN. « Distinguish organic wine from normal wines on the basis of concentrations of phenolic compounds and spectral data », *European Food Res. Technol.*, vol. 212 (2001), p. 390-394.

VEBERIC, R., M. TROBEC, K. HERBINGER, M. HOFER, D. GRILL et F. STAMPAR. « Phenolic compounds in some apple (*Malus domestica* Borkh) cultivars of organic and integrated production », *J. Sci. Food Agr.*, vol. 85 (2005), p. 1687-1694.

VELIMIROV, A., K. PLOCHBERGER, U. HUSPEKA et W. SCHOTT. « The influence of biologically and conventionally cultivated food on the fertility of rats », *Bio. Agr. Hort.*, vol. 8 (1992), p. 325-337.

VERDE-MENDEZ, C.M., M.P. FORSTER, M.A. RODRIGUEZ-DELGADO, E.M. RODRIGUEZ-RODRIGUEZ et C. DIAZ-ROMERO. « Content of free phenolic compounds in bananas from Tenerife (Canary Islands) and Ecuador », *European Food Res Tech.*, vol. 217 (2003), p. 287-290.

VOGTMANN, H. « From healthy soil to healthy food: An analysis of the quality of food produced under contrasting agricultural systems », *Nutr. Health*, vol. 6 (1988), p. 21-35.

VOGTMANN, H., K. MATTHIES, B. KEHRES et A. MEIER PLOEGER. « Enhanced food quality: Effects of composts on the quality of plant foods », *Compost Sci. Utiliz.*, vol. 1 (1993), p. 82-100.

WARMAN, P.R., et K.A. HAVARD. « Yield, vitamin and mineral contents of organically and conventionally grown potatoes and sweet corn », *Ag. Ecosys. Environ.*, vol. 68 (1998), p. 207-216.

WARMAN, P.R., et K.A. HAVARD. « Yield, vitamin and mineral contents of organically and conventionally grown carrots and cabbage », *Agr. Ecosys. Environ.*, vol. 61 (1997), p. 155-162.

WARMAN, P.R., et K.A. HAVARD. « Yield, vitamin and mineral content of four vegetables grown with either composted manure or conventional fertilizer », *J. Veg Crop Prod.*, vol. 2 (1996), p. 13-25.

WEIBEL, F.P., R. BICKEL, S. LEUTHOLD et T. ALFOLDI. « Are organically grown apples tastier and healthier? A comparative field study using conventional and alternative methods to measure fruit quality », *Acta Hort.*, vol. 517 (2000), p. 417-426.

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	51

WOLFSON, J.L., et G. SHEARER. « Amino acid composition of grain protein of maize grown with and without pesticides and standard commercial fertilizers », *Agron J.*, vol. 73 (1981), p. 611-613.

YLDRM, H.K., Y.D. AKCAY, U. GÜVENC et E.Y. SÖZME. « Protection capacity against low-density lipoprotein oxidation and antioxidant potential of some organic and non-organic wines », *Intl. J. Food Sci. Nutr.*, vol. 55 (2004), p. 351-362.

YOUNG, J.E., X. ZHAO, E.E. CAREY, R. WELTI, S. YANG et W. WANG. « Phytochemical phenolics in organically grown vegetables », *Mol. Nutr. Food Res.*, vol. 49 (2005), p. 1136-1142.

ZHAO, X., T. IWAMOTO et E. CAREY. « Antioxidant capacity of leafy vegetables as affected by high tunnel environment, fertilization and growth stage », *J. Science of Food and Agriculture*, vol. 87 (2007), p. 2692-2699.

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	52

Bibliographie

- BOURN, D., et J. PRESCOTT. « A Comparison of the Nutritional Value, Sensory Qualities, and Food Safety of Organically and Conventionally Produced Foods », *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 42, n° 1 (2002), p. 1-34.
- BRANDT, K., et J.P. MOLGAARD. « Organic agriculture: does it enhance or reduce the nutritional value of plant foods? », *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 81 (2001), p. 924-931.
- CLANCY, Kate. *Greener Pastures: How Grass-fed Beef and Milk Contribute to Healthy Eating*, Union of Concerned Scientists, Washington, D.C., 2007.
- DAVIS, D., M.D. EPP et H.D. RIORDAN. « Changes in USDA Food Composition Data for 43 Garden Crops, 1950 to 1999 », *Journal of the American College of Nutrition*, vol. 23, n° 6 (2004), p. 669-682.
- HARBORNE, J.B. « Classes and functions of secondary products from plants », dans J.N. Walton et D.E. Brown (éd.), *Chemicals from plants – Perspectives on plant secondary products*, Imperial; College Press, London, 1999, p. 1-25.
- HERTOG, M.G.L., P.C.H. HOLLMAN et D.P. VENEMA. « Optimization of a Quantitative HPLC Determination of Potentially Anticarcinogenic Flavonoids in Vegetables and Fruits », *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 40 (1992), p. 1591-1598.
- HUBER, M. (éd.). *Organic, More Healthy? – A search for biomarkers of potential health effects induced by organic products, investigated in a chicken model*, Louis Bolk Institute et FQH (Organic Food Quality and Health), 2007.
- JARRELL, W.M., et R.B. BEVERLY. « The dilution effect in plant nutrition studies », dans N.C. Brady (éd.), *Advances in Agronomy*, vol. 34 (1981), p. 197-224.
- LESTER, G.E. « Organic versus Conventionally Grown Produce: Quality Differences, and Guidelines for Comparison Studies », *HortScience*, vol. 41, n° 2 (2006), p. 296-300.
- MAGKOS, F., F. ARVANITI et A. ZAMPELAS. « Organic food: nutritious food or food for thought? A review of the evidence », *Int. Journal of Food Sciences and Nutrition*, vol. 54, n° 5 (2003), p. 357-371.
- MAYER, A-M. « Historical changes in the mineral content of fruits and vegetables », *British Food Journal*, vol. 99, n° 6 (1997), p. 207-211.
- POLLAK, L.M., et M.P. SCOTT. « Breeding for Grain Quality Traits », *Maydica*, vol. 50 (2005), p. 247-257.
- TONUCCI, L.H., J.M. HOLDEN, G.R. BEECHER, F. KHACHIK, C.S. DAVIS et G. MULOKOZI. « Carotenoid Content of Thermally Processed Tomato-Based Food Products », *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 43 (2005), p. 579-586.
- URIBELARREA, M., F.E. BELOW et S.P. MOOSE. « Grain Composition and Productivity of Maize Hybrids Derived from the Illinois Protein Strains in Response to Variable Nitrogen Fertilizer », *Crop Science*, vol. 44 (2004), p. 1593-1600.
- VAN DER WERF, E., J. KARIUKI et D.D. ONDURU. « Methodological Issues in Comparative Agro-Economic On-farm Research Assessments of Organic Versus Conventional Farming Techniques », *Biological Agriculture and Horticulture*, vol. 14 (1997), p. 53-99.
- WHITE, P.J., et M.R. BROADLEY. « Historical variation in the mineral composition of edible horticultural products », *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, vol. 80, n° 6 (2005), p. 660-667.
- WILLIAMS, C.M. « Nutritional quality of organic foods: shades of grey or shades of green? », *Proceedings of the Nutrition Society*, vol. 61 (2002), p. 19-24.
- WORTHINGTON, V. « Nutritional Quality of Organic Versus Conventional Fruits, Vegetables, and Grains », *Journal of Alternative and Complimentary Medicine*, vol. 7, n° 2 (2001), p. 161-173.

The Organic Center	Rapport sur un enjeu important	Page
Mars 2008	Supériorité nutritionnelle des aliments biologiques	53

Les coauteurs de la Revue de l'état de la science

M. Preston Andrews, professeur agrégé, est un expert scientifique en horticulture de la Washington State University qui étudie la biologie et la durabilité des cultures fruitières. M. Andrews a obtenu son doctorat en 1984 à la Washington State University et a passé plusieurs années à Davis, en Californie, et à la Massey University, en Nouvelle-Zélande, avant de se joindre à la faculté de la Washington State University en 1990. En 1994, il entreprend des études comparatives interdisciplinaires des systèmes de production de fruits biologiques et conventionnels. En 2001, il rédige en collaboration avec M. John Reganold et d'autres collègues une étude qui a fait date, publiée dans *Nature* (le 19 avril 2001), sur la durabilité comparée des systèmes de production de pommes biologiques, intégrés et conventionnels de l'État de Washington. M. Andrews continue d'étudier le développement durable de l'agriculture et, plus récemment, les avantages nutritionnels des fruits de culture biologique.



M. Charles Benbrook est l'expert scientifique en chef de l'Organic Center. Titulaire d'un doctorat, M. Benbrook occupe ce poste depuis deux ans et agit à titre d'expert-conseil auprès du Centre depuis 2004. Il étudie l'exposition aux pesticides et les risques connexes depuis le début des années 1980, époque à laquelle il occupait le poste de directeur du personnel d'un sous-comité du Congrès. M. Benbrook est titulaire d'un doctorat en économie agricole de l'University of Wisconsin-Madison, et d'un baccalauréat ès sciences de la Harvard University.



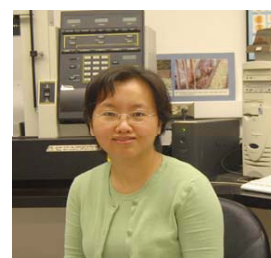
M. Neal Davies est pharmacien clinicien et professeur agrégé au College of Pharmacy de la Washington State University. M. Davies et ses collègues de laboratoire se spécialisent dans l'élaboration et l'analyse des méthodes d'analyse, y compris l'analyse phytochimique des stilbènes et des flavonoïdes. M. Davies et ses collègues ont publié plus d'une douzaine d'articles sur les différences de teneur et de forme des polyphénols et des antioxydants dans les aliments biologiques et conventionnels, en plus de réaliser des épreuves biologiques destinées à mesurer l'incidence de ces différences sur les teneurs en phytonutriments.



M. Jaime A. Yanez est titulaire d'un baccalauréat ès sciences en science alimentaire et en toxicologie avec mineure en chimie de l'University of Idaho et d'un doctorat en pharmacologie et en toxicologie avec spécialisation en pharmacocinétique de la Washington State University. Il a acquis de l'expérience avec un large éventail de techniques d'analyse différentes dont la chromatographie liquide à haute performance (CLHP) et le couplage de chromatographie en phase liquide et spectrométrie de masse (CPL-SM). Ses intérêts en matière de recherche englobent le métabolisme et la disposition des substances phytochimiques et des petites molécules et les bienfaits pour la santé des fruits, des légumes et des plantes médicinales.



M^{me} Xin Zhao est professeure adjointe au département des sciences horticoles de l'University of Florida, à Gainesville. Elle se spécialise dans la production végétale et la physiologie végétale. M^{me} Zhao est titulaire d'un doctorat de la Kansas State University, où ses recherches ont surtout porté sur l'incidence des systèmes de gestion biologique, y compris des abris-serres, sur les systèmes de production de légumes et la valeur nutritive des cultures récoltées.



This report was originally published in English by Organic Center, USA. The Organic Agriculture Centre of Canada (OACC) gratefully acknowledges Organic Center for permission to publish the report in French.

Le présent rapport a été publié à l'origine en anglais par l'Organic Center, aux États-Unis. Le Centre d'agriculture biologique du Canada (CABC) remercie le Organic Centre de lui avoir accordé la permission de publier ce rapport en français.