Cultures biofortifiées

Dr. Brian Hilton

Dr Brian Hilton a étudié et fait la promotion des cultures biofortifiées pendant plus de 20 ans. Brian a travaillé en tant que membre d'une équipe testant les premières variétés de patate douce orange au Mozambique en 2002. Il a 25 ans d'expérience de travail parmi des agriculteurs en Indonésie, au Tchad et au Mozambique. Brian travaille actuellement avec World Vision Australie, où il coordonne des réseaux de biofortification de World Vision avec des institutions du GCRAI qui font l'amélioration génétique des cultures bioforfiées, et avec HarvestPlus dont la mission est d'atteindre 1 milliard de personnes avec des aliments bioforfiés d'ici 2030.

Introduction: Des déficiences en micronutriments

On estime que deux milliards ou plus de personnes souffrent de «faim cachée», la privation en micronutriments nécessaire à la croissance et à la bonne santé. Chez les jeunes enfants, la carence en micronutriments provoque une malnutrition qui entraîne des dommages cognitifs permanents. Les enfants malnutris ne se rattrapent pas avec leurs pairs mieux nourris, ce qui entraîne une vie de mauvaise santé et une productivité plus faible. C'est une grande préoccupation.

La carence la plus fréquente en micronutriments est celle du fer. Plus de 30% de la population mondiale—environ deux milliards de personnes—sont anémiques (une condition symptomatique de la carence en fer). L'anémie contribue à 20% des décès maternels (OMS 2017a). Une autre déficience en micronutriments est la carence en vitamine A, une cause fréquente de cécité évitable et un facteur de risque d'augmentation de la sévérité des maladies infectieuses et de la mortalité. On estime que 250 millions d'enfants sont déficients en vitamine A et chaque année, environ 250 000 à 500 000 enfants deviennent aveugles à cause de cela. Plus de la moitié de ces enfants meurent au bout d'un an après avoir perdu la vue (OMS 2017b). La déficience en zinc est une autre préoccupation; Plus de 116 000 enfants en meurent chaque année, et environ 17% de la population mondiale risque d'avoir un apport insuffisant en zinc (HarvestPlus 2017).

Les scientifiques et les Etats ont remédié aux déficiences en micronutriments avec des programmes de supplémentation en vitamines et en minéraux, et avec des programmes de fortification alimentaire dans lesquels les meuniers et les transformateurs mettent des vitamines et des minéraux dans les aliments. Ces programmes sont bon marché et efficaces, mais il peut y avoir des lacunes dans la

couverture. Les programmes de fortification alimentaires ont une couverture acceptable dans les zones urbaines où les gens achètent des aliments enrichis transformés, mais ils sont moins efficaces dans les zones rurales où les familles n'achètent pas beaucoup de nourriture.

La diversité de l'alimentation est le mécanisme idéal pour lutter contre les déficiences en micronutriments, mais il est très difficile à atteindre dans les pays où nous travaillons en raison de la pauvreté, des longues saisons sèches ou des petites superficies de terres. Par exemple, on utilise plus facilement le fer héminique (dérivé de sources animales) que le fer non héminique (à base de plantes). Cela est problématique, car plus la population est pauvre, moins on mange de viande et moins l'alimentation est variée. Pour toutes ces raisons, la plupart des gens montrent une préférence pour une approche combinée de supplémentation en vitamines, de fortification, de diversité alimentaire et de biofortification, plutôt que d'utiliser une approche unique pour remédier à la carence en micronutriments.

La biofortification

Figure 1. Un agriculteur zambien montrant le maïs hybride enrichi à la provitamine A à gauche par opposition à l'hybride conventionnel à droite. *Source: Brian Hilton*

La biofortification est le processus de développement des cultures pour une augmentation du contenu nutritionnel ou une augmentation de la densité des éléments nutritifs. En temps de crise économique, les pauvres ont tendance à réduire les achats des produits coûteux non essentiels tels que la viande, les fruits et les légumes (Bouis 2011). Cela fait des aliments de base comme le blé, le riz, le maïs, le haricot et le manioc, de bonnes cibles des programmes de biofortification, car nous savons que les plus pauvres et les

plus malnutris consommeront ces aliments même dans les moments difficiles.

Les phytogénéticiens classiques ont utilisé deux voies pour biofortifier les cultures: 1) trouver des variétés de plantes qui présentent des pigments de bêta-carotène et 2) trouver des racines solides qui sont plus efficaces dans l'absorption du fer et du zinc. En cherchant à remédier aux carences en vitamine A, les phytogénéticiens font des croisements avec des variétés exprimant des pigments de plantes oranges (bêta-carotène) comme ceux que l'on trouve dans le maïs indien ou dans les patates douces oranges. En choisissant des racines plus fortes, les phytogénéticiens peuvent cribler des variétés pour une teneur élevée en fer et en zinc et ensuite croiser ces variétés avec des plantes ayant des caractéristiques de haut rendement. Lorsque les phytogénéticiens étudient pourquoi les cultures antérieures accumulent plus de fer et de zinc, ils trouvent généralement que les racines sont mieux en mesure d'extraire des minéraux du sol. Les plantes améliorent leur capacité à extraire des éléments nutritifs en pompant des acides organiques dans la rhizosphère pour les dissoudre et augmenter l'absorption du fer et du zinc par les racines des plantes. En raison de la similitude entre les cations Fe^{2+} et Zn^{2+}, les cultures biofortifiées pour le zinc sont souvent également biofortifiées pour le fer (bien qu'à un degré moins élevé) et vice versa. Le haricot à forte teneur en fer au Burundi a une teneur à 70% plus élevée en fer, mais aussi à 40% plus élevée en zinc que le haricot ordinaire. Le blé à teneur élevée en zinc au Pakistan a également une teneur plus élevée en fer.

Cela m'amène aux normes. En observant la teneur en micronutriments dans une culture, on peut souvent voir une large gamme qui est encore élargie par différents types de sols, endroits et climats. HarvestPlus (http://www.harvestplus.org/node/553) est une organisation internationale dans le système du GCRAI qui définit les normes optimales pour les cultures biofortifiées (c'est-à-dire que l'augmentation de la concentration d'un élément nutritif particulier doit être supérieure à un certain seuil pour atteindre les normes optimales). Par exemple, la teneur initiale en fer du haricot est de 50 ppm, avec un objectif de 94 ppm pour le haricot biofortifié. Il y a quelques années, j'étais enthousiaste à l'idée de soutenir un projet de promotion d'un nouveau haricot à forte teneur en fer dans un pays africain, quand les membres de HarvestPlus m'ont gentiment rappelé que la variété de haricot dans ma proposition n'avait que 63 ppm de fer et ne correspondait pas à leurs objectifs de biofortification. C'était un bon point. Pour vraiment faire la différence dans la nutrition, les cultures biofortifiées doivent avoir une teneur beaucoup plus élevée en micronutriments—habituellement plus de 70% de plus.

L'amélioration génétique des cultures est un travail difficile. Les phytogénéticiens choisissent de nombreuses caractéristiques différentes, y compris le rendement élevé, la résistance aux ravageurs, la tolérance à la sécheresse, la taille des grains et le goût. Ces scientifiques sont souvent sous une pression intense, en particulier pour augmenter la tolérance à la sécheresse des cultures. L'ajout d'un paramètre supplémentaire comme la nutrition augmente leur charge de travail de façon exponentielle, de sorte que vous pouvez imaginer que ce ne sont pas tous les phytogénéticiens qui sont enthousiasmés par ce nouveau défi. D'après mon expérience, les femmes scientifiques avec qui j'ai travaillé sont beaucoup plus favorables à la biofortification que les hommes, car les femmes comprennent mieux l'importance de la nutrition. En revanche, certains phytogénéticiens, lorsqu'on leur

présente le catalogue des lignées avancées des centres du GCRAI, choisissent simplement celles qui ont de très bons rendements ou les plus grosses graines sans penser à la nutrition. HarvestPlus essaie de changer cela en gagnant les cœurs et les esprits des phytogénéticiens dans ce grand débat, à travers des ateliers, des conférences et un soutien aux programmes nationaux d'amélioration génétique testant des cultures biofortifiées.

La biofortification peut augmenter les niveaux des éléments nutritifs suffisamment pour améliorer la nutrition humaine sans réduire le rendement. Je travaille le plus souvent dans des pays très pauvres tels que le Burundi, le Mozambique, le Bangladesh et le Timor Oriental, où il n'y a pas eu de nouvelles variétés récemment homologuées ces derniers temps. Au Burundi, un nouveau haricot à forte teneur en fer a un rendement de 30% de plus que les haricots conventionnels car il y a eu si peu de lancements ces derniers temps. De nouvelles variétés de patate douce orange seront homologuées au Burundi en 2017; la dernière variété de patate douce blanche a été homologuée en 1988, donc il y a de bonnes chances que les nouvelles variétés de patate douce orange (qui ont été améliorées génétiquement pour des caractéristiques qui comprennent un rendement plus élevé) auront un rendement beaucoup meilleur que celui de la patate douce blanche locale. Avec le maïs hybride orange provitamine A (à forte teneur en bêta-carotène, le précurseur de la vitamine A) en Afrique australe, les rendements sont encore plus faibles par rapport à d'autres maïs hybrides, mais la différence de rendement diminue au fur et à mesure que de nouvelles variétés de provitamines A font leur apparition.

Figure 2. Sept types de haricots à teneur élevée en fer au Burundi, y compris les haricots nains et les haricots à rames. Différentes couleurs sont préférées dans différentes régions. *Source: Brian Hilton*

Cultures Biofortifiées

De nombreuses cultures biofortifiées ont été homologuées. Je vais passer en revue quelques-unes des plus passionnantes (voir aussi le tableau 1). La patate douce orange, le manioc jaune et la banane orange fournissent la provitamine A. Le blé à forte teneur en zinc et le riz à forte teneur en zinc améliorent l'accès à ce minéral important et sont promus dans les zones où la carence en zinc est élevée. Le mil, le haricot et les lentilles à teneur élevée en fer contribuent à prévenir l'anémie de la carence en fer. Ces cultures sont apparues de manière sporadique en Afrique, en Amérique du Sud et en Asie, lorsque les phytogénéticiens et les Etats s'y sont intéressés.

Les semences provenant des variétés indiquées dans le tableau 1 devraient être disponibles auprès du Ministère de l'agriculture ou des entreprises de semences du pays indiqué. Beaucoup de ces variétés sont disponibles, mais ne sont pas bien promues. Notez que plusieurs de celles-ci (bananes, manioc et patates douces) peuvent être propagées par multiplication végétative, et on obtient des clones qui conservent l'état nutritif élevé des plantes d'origine.

Pour une liste plus exhaustive des cultures de base biofortifiées, visitez **http://www.harvestplus.org/sites/default/files/publications/HarvestPlus_BiofortifiedCropMap_2016.pdf (http://www.harvestplus.org/sites/default/files/publications/HarvestPlus_BiofortifiedCropMap_2016.pdf)**

Tableau 1. Les cultures biofortifiées qui ont été ou seront bientôt homologuées. (Les cultures répertoriées ici sont toutes génétiquement améliorées de façon conventionnelle).

Culture	Pays d'homologation	Pays testant et près de l'homologuer	Stratégie de multiplication	Les agriculteurs peuvent-ils conserver leurs propres semences?
Maïs enrichi à la provitamine A	Zambie, RDC, Zimbabwe	Nombreux	La graine	Non, il vaut mieux acheter de nouvelles semences chaque année
Patate douce orange	Nombreux		Végétative (boutures)	Oui (boutures)
Riz à haute teneur en zinc	Inde, Bangladesh	À des stades préliminaires dans de nombreux pays asiatiques	La graine	Yes
Blé à haute teneur en zinc	Pakistan	Bangladesh, Afghanistan	La graine	Yes
Banane jaune	Nigéria, RDC	Ghana, Sierra Leone	Végétative (boutures)	Oui (boutures)
Haricot à teneur élevée en fer	Ouganda, Rwanda, Burundi, Mexique	De nombreux pays d'Afrique orientale et australe	La graine	Yes
Lentilles à teneur élevée en fer	Népal, Bangladesh		La graine	Yes
Millet perlé à haute teneur en fer	Inde	Pakistan, West Africa	La graine	Yes

La plupart des cultures en rangée semblent être autogames ou seulement allogames en partie, ce qui rend plus facile pour les agriculteurs de conserver leurs variétés grâce à la conservation des semences. Les agriculteurs de nos programmes font la conservation des semences du blé, du riz, des arachides, du haricot, du sorgho, du niébé, du pois d'Angole, du soja, etc. Le blé est la plupart du temps autogame avant que les fleurs ne s'ouvrent; certains pourraient être allogames par l'action du vent, mais le pollen est tellement lourd qu'il ne voyage généralement pas loin. Le sorgho n'est croisé qu'à environ 5%, de sorte que la graine garde sa pureté pendant un certain nombre d'années. Néanmoins, pour les cultures à reproduction sexuée dans le tableau 1, la meilleure façon de préserver la caractéristique de teneur élevée en éléments nutritifs dans chaque variété consiste à acheter régulièrement des semences provenant de fournisseurs locaux. L'investissement est généralement compensé par des retours sur investissement plus importants grâce à l'utilisation de semences de qualité. Même si une variété est connue pour être autogame, les agriculteurs devraient probablement acheter de nouvelles semences tous les quatre ou cinq ans. Cela réduit les risques de contamination par les virus transmis par les semences et le pollen provenant de variétés non biofortifiées; Les cultures allogames sont plus sensibles à la contamination que les cultures autogames, mais le croisement (souvent par l'activité des insectes) se produit même dans les cultures autogames. Le maïs enrichi en provitamine A est un hybride et n'est disponible qu'auprès des entreprises de semences; il est préférable d'acheter des semences de maïs hybrides chaque année, car la pollinisation croisée et la modification de la variété se produisent dans les plantations ultérieures.

Les cultures biofortifiées peuvent avoir des caractéristiques visibles ou invisibles. Le maïs enrichi en Provitamine A est visiblement orange, de sorte que les agriculteurs peuvent identifier ce qu'ils ont. La couleur du maïs nsima (bouillie) est également de couleur orange claire; c'est une couleur agréable, mais la plupart des cultures prendront un certain temps pour s'y habituer. Une sorte de changement de comportement peut être nécessaire. Au Mozambique, je pouvais facilement suivre la propagation des patates douces d'orange dans de nouveaux villages parce que les caractéristiques étaient visibles.

Les cultures à teneur plus élevée en minéraux ont des caractéristiques invisibles—il n'est pas évident que ces cultures sont plus nutritives. Ces cultures avec des caractéristiques invisibles peuvent se propager très rapidement, mais les agriculteurs qui les cultivent ne savent souvent pas qu'elles sont plus nutritives. Les agriculteurs peuvent plutôt les cultiver pour leur rendement plus élevé. J'appelle cela «la nutrition à la dérobée». Personnellement, j'aime voir des propagations de cultures biofortifiées accompagnées de projets de nutrition où les mères et les pères peuvent acquérir des connaissances sur la nutrition. La connaissance nutritionnelle est véritablement autonomisante.

Measuring Impact

L'indice de priorité pour la biofortification (IPB) évalue les impacts de sept cultures biofortifiées dans 127 pays. Les impacts sont estimés par le nombre de personnes qui cultivent et consomment la culture dans chaque pays, ainsi que la gravité de la carence en micronutriments à laquelle la culture remédie (Asare-Marfo *et al.* 2013).

Le Rapport mondial sur la nutrition 2016 (p. 18) note que le retour sur investissement dans les interventions nutritionnelles est 16 fois ce qui a été investi, car les impacts sur les mères et les jeunes enfants se multiplient au cours de leur vie. Je faisais des projets agricoles depuis 30 ans et je n'ai pas encore trouvé de projets ayant plus d'impact par dollar que l'ampleur des cultures biofortifiées. Considérons le nouveau blé à haute teneur en zinc (et à haute teneur en fer) au Pakistan appelé Zincol 2016 (figure 3). Il y a 200 millions de consommateurs de pain au Pakistan; imaginez l'impact que cette culture pourrait avoir sur une population déficiente en fer et en zinc. Ce blé à teneur élevée en zinc figurerait en bonne place sur l'IPB.

Figure 3. Le blé Zincol 2016 au Pakistan. Brian Hilton avec le phytogénéticien de blé de HarvestPlus Yacub Mujadin. *Source: Brian Hilton*

Ingénierie génétique

Au fur et à mesure que l'ingénierie génétique deviendra plus largement acceptée, de plus en plus de meilleures cultures biofortifiées seront disponibles. L'ingénierie génétique implique un processus d'insertion d'ADN dans une plante. L'amélioration génétique conventionnelle (croisement de deux variétés) nécessite de nombreuses générations de croisement. Même si le gène souhaité a été identifié dans une variété sauvage d'une plante végétale au sein d'une même espèce, il n'y a aucune garantie qu'un phytogénéticien puisse le transférer à la culture domestique par croisement. L'ingénierie génétique offre une approche plus rapide et plus directe pour le croisement de ce gène. La modification génétique chez les plantes de la même espèce s'appelle cisgenèse. Les phytogénéticiens peuvent également introduire de nouveaux gènes dans des plantes en transférant des gènes d'autres espèces; c'est ce qu'on appelle la transgenèse.

Un exemple de culture transgénique est le riz doré (http://www.goldenrice.org/Content2-How/how1_sci.php) que l'on trouve au Bangladesh et aux Philippines. Deux gènes, l'un provenant d'une jonquille et l'autre d'une bactérie du sol, ont été introduits pour permettre au riz de synthétiser le bêta-carotène dans le grain. Ceci est passionnant pour les nutritionnistes; les déficiences en micronutriments sont mortelles aux Philippines, et la modification génétique

(MG) augmente à la fois la gamme des cultures pouvant être biofortifiées et réduit le temps nécessaire aux programmes nationaux d'amélioration génétique pour homologuer ces cultures. La MG offre également aux scientifiques plus de voies pour biofortifier les cultures. Les gènes insérés dans le riz doré activent le mécanisme de synthèse des bêta-carotènes dans le grain. Les gènes insérés dans le (prochain) riz à teneur élevée en fer désactivent le mécanisme de la plante pour la saturation en fer, de sorte que la plante de riz essaie toujours d'absorber plus de fer.

Après le riz doré, le riz à teneur élevée en fer et le blé à teneur éleveur en fer seront la prochaine génération de cultures biofortifiées génétiquement modifiée; en fait, ces cultures sont à des stades avancés dans le processus. Ce qui les retardera dans la plupart des régions du monde, ce sont les politiques gouvernementales nationales régissant l'utilisation des cultures génétiquement modifiées. La transgenèse est un sujet de préoccupation pour certains, qui s'inquiètent des problèmes imprévus liés à la sécurité alimentaire, et du croisement naturel de cultures génétiquement modifiées en cultures conventionnelles et en parents sauvages. La préoccupation concernant la sécurité des cultures transgéniques, cependant, doit être examinée en tenant compte du bien que ces cultures pourraient produire parmi les populations cibles extrêmement pauvres. Il y a là un autre grand débat sur lequel tout le monde semble avoir une ferme opinion. Une opinion qui n'est généralement pas entendue dans les débats est celle des pauvres malnutris qui profiteraient le plus de ces cultures.

[Les rédacteurs: Conformément à nos points forts, les ressources de base de ECHO se concentrent sur les VPL non-OGM, principalement des plantes alimentaires sous-utilisées.]

Conclusion

Figure 4. Les patates douces oranges ont été introduites dans les régimes alimentaires des enfants au Mozambique. *Source: Brian Hilton*

La liste des cultures biofortifiées disponibles augmente constamment. Si vous faites la promotion de cultures telles que le haricot ou les lentilles, les nouvelles variétés biofortifiées à teneur élevée en fer pourraient être disponibles dans votre pays. J'utilise les cultures biofortifiées comme

point focal pour inciter les donateurs à investir dans des projets intégrés en matière d'agriculture et de nutrition.

Au début de ma carrière, j'étais intéressé à aider les agriculteurs du Tchad et du Mozambique à obtenir des rendements élevés, augmenter leurs revenus et sortir de la pauvreté. Ces agriculteurs avaient pour la plupart l'esprit d'entreprise et c'était surtout des hommes. Certes, ces agriculteurs ont commencé très pauvres et beaucoup de progrès ont été réalisés. Cependant, à présent, je vais plus loin dans la communauté et je recherche des familles avec des enfants mal nourris, les types d'agriculteurs qui ne se présentent pas souvent lors des réunions communautaires. Je travaille avec d'autres pour améliorer leurs connaissances nutritionnelles et pour aider les mères à accroître leurs compétences en matière de soins à donner aux enfants et de pratiques alimentaires. À bien des égards, cela a été difficile, mais, comme l'indique le Rapport mondial sur la nutrition, atteindre ces agriculteurs et aider leurs enfants à se remettre de la malnutrition peut avoir des impacts énormes et durables. La promotion des cultures biofortifiées peut constituer un élément important de l'amélioration de la nutrition.

Reférences

Asare-Marfo, D., E. Birol, C. Gonzalez, M. Moursi, S. Perez, J. Schwarz, and M. Zeller. 2013. Prioritizing countries for biofortification interventions using country-level data. [Prioriser les pays pour les interventions de biofortification en utilisant les données au niveau des pays]. *HarvestPlus Working Paper No. 11.* Washington, DC: Institut international de recherche sur les politiques alimentaires (IFPRI).

Bouis, H. 2011. Rising Food Prices Increase Hidden Hunger [La hausse des prix des aliments accroit la faim cachée]. [EN LIGNE] Disponible sur: http://www.harvestplus.org/node/553 (http://www.harvestplus.org/node/553). [Consulté le 7 décembre 2016].

HarvestPlus. 2017. *Nutrition*. [EN LIGNE] Disponible sur: http://www.harvestplus.org/what-we-do/nutrition (http://www.harvestplus.org/what-we-do/nutrition). [Consulté le 21 février 2017].

Institut international de recherche sur les politiques alimentaires, *Rapport mondial sur la nutrition* 2016. p 18.

The Golden Rice Project. 2017. *The Science Behind Golden Rice [Les enjeux du Riz Doré]*. [EN LIGNE] Disponible sur: http://www.goldenrice.org/Content2-How/how1_sci.php (http://www.goldenrice.org/Content2-How/how1_sci.php). [Consulté le 21 février 2017].

Organisation Mondiale de la Santé. 2017a. Iron deficiency anaemia [L'anémie ferriprive]. [EN LIGNE] Disponible sur: http://www.who.int/nutrition/topics/ida/en/ (http://www.who.int/nutrition/topics/ida/en/). [Consulté le 21 février 2017].

Organisation Mondiale de la Santé. 2017 b. *Vitamin A deficiency [carence en vitamine A]*. [EN LIGNE] Disponible sur: http://www.who.int/nutrition/topics/vad/en/ (http://www.who.int/nutrition/topics/vad/en/). [Consulté le 21 février 2017].

© 2017 ECHO Inc. http://edn.link/biofort