

Préface de  
*Didier Guillaume*

Coordonné par  
Christian Huyghe  
Bruno Desprez  
Vincent Laudinat

# LA BETTERAVE SUCRIÈRE

L'innovation  
compétitive

éditions  
**Quæ**



Coordonné par :  
Christian Huyghe  
Bruno Desprez  
Vincent Laudinat

# LA BETTERAVE SUCRIÈRE

**L'innovation  
compétitive**



Éditions Quæ

Éditions Quæ  
RD 10  
78026 Versailles Cedex, France  
[www.quae.com](http://www.quae.com)

© Éditions Quæ, 2020  
ISBN (papier) : 978-2-7592-3157-7  
ISBN (PDF) : 978-2-7592-3158-4  
ISBN (ePub) : 978-2-7592-3159-1

Le code de la propriété intellectuelle interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique, et est sanctionné pénalement. Toute reproduction partielle du présent ouvrage est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20 rue des Grands-Augustins, Paris 6<sup>e</sup>.

# SOMMAIRE

Préface .....	5
---------------	---

## Contexte

Petite histoire de la sélection de la betterave.....	11
Les objectifs du programme AKER .....	13
La betterave aujourd'hui.....	16
Ce qui a changé depuis le lancement d'AKER.....	18
L'économie sucrière internationale.....	20
<i>Jetta Keranen : les obligations du programme AKER vis-à-vis de l'ANR sont-elles remplies ?.....</i>	25

## Outils et méthodes de génotypage

Séquençage et marquage moléculaire .....	29
Traitement de l'information génomique.....	36
Mise en place du système d'information.....	43
<i>Mitchell Mc Grath : quel est l'impact international du programme AKER? .....</i>	49

## Outils et méthodes de phénotypage

Programme de phénotypage.....	53
Phénotypage des semences et plantules .....	54
Phénotypage en végétation, au champ.....	66
<i>Vincent Laudinat : le programme AKER va-t-il satisfaire les attentes de la filière betterave ?.....</i>	79

## Du matériel génétique nouveau

Doubler le rythme de croissance annuelle du rendement.....	83
Schéma général du programme AKER .....	85
Critères d'évaluation des 3 000 hybrides .....	90
Résultats obtenus .....	96
<i>Bruno Desprez : les réalisations du programme AKER sont-elles à la hauteur des ambitions de départ ?</i> .....	109

## Un programme ouvert

Des programmes complémentaires .....	113
Des réponses à de nouvelles questions .....	119
Une contribution dynamique pour une agriculture moderne .....	124
Un programme partenarial, collaboratif, pluridisciplinaire.....	126
Un programme transversal.....	128
Un <i>continuum</i> recherche-enseignement-entreprise.....	130
La force de la communication .....	134
Une dimension internationale .....	138
<i>Christian Huyghe : et maintenant, quelles perspectives à 360° pour le programme AKER ?</i> .....	141
Glossaire .....	143
Principales publications scientifiques.....	147
Les partenaires du programme AKER.....	149
Les collaborateurs du programme AKER.....	151
Crédits photographiques.....	152

## PRÉFACE

La betterave sucrière est une filière indispensable de l'agriculture et de l'industrie agroalimentaire française. Localisée dans les plaines fertiles où elle contribue à maintenir une diversité des productions, cette filière se transforme pour répondre aux enjeux économiques et environnementaux.

La filière a misé sur l'innovation pour optimiser la production et la transformation, en exploitant au maximum les économies d'échelle, avec l'objectif de maintenir des usines au cœur des zones de production.

L'innovation porte ses fruits. Sur une décennie, l'amélioration des rendements s'est réalisée tout en diminuant son impact environnemental, avec une forte réduction de la fertilisation azotée.

Les progrès en agroéquipements y sont aussi remarquables. C'est bien sûr le cas pour les machines de récolte, pour le développement du désherbage mécanique, avec guidage laser et bientôt la reconnaissance d'adventices, qui pourra à court terme irriguer les autres productions.

Mais, plus que tout, le progrès génétique a été absolument considérable, pour cette espèce à domestication récente.

Le programme AKER, retenu en 2012 dans le cadre du Programme d'investissements d'avenir Biotechnologies-bioressources, a particulièrement contribué à ces innovations. Les nouvelles variétés qui émanent de ce programme, plus productives et plus résistantes aux maladies, offrent de grandes perspectives à l'ensemble de la filière. En mobilisant des technologies de génotypage et de phénotypage à haut débit, et en explorant la diversité génétique, le programme AKER a contribué et contribue à la reconnaissance du rôle de la biodiversité, qui est le cœur de l'agroécologie.





L'innovation est l'un des piliers de la transition agroécologique de notre pays. Le programme AKER rappelle aussi que l'innovation et cette transition reposent sur notre capacité d'action collective. Il a associé une entreprise française particulièrement dynamique et créative, des équipes d'INRAE, des universités et grandes écoles, et un institut technique agricole, qui constitue une exception française en matière d'innovation permettant d'accélérer le progrès et son adoption.

Ainsi, le programme AKER a été lui aussi emblématique de ce que le partenariat public-privé de recherche permet de produire au service d'une agriculture et d'une industrie agroalimentaire économiquement performantes et respectueuses de l'environnement.

*Didier Guillaume*  
*Ministre de l'Agriculture et de l'Alimentation*





**Contexte**





La première sucrerie de betterave en Silésie construite par Frédéric-Charles Achard.

## ■ Petite histoire de la sélection de la betterave

La betterave à sucre (*Beta vulgaris* L.) est apparue en Silésie, à Cunern en 1802, grâce aux travaux de Frédéric-Charles Achard. Elle est la première plante à avoir été sélectionnée systématiquement car la betterave présente un cycle de reproduction bisannuel (une année en végétation, une année en production de graines), ce qui la rend difficile à reproduire par l'agriculteur.

En 1806, lors du Blocus continental, les mesures prises par l'empereur Napoléon 1<sup>er</sup> pour étouffer le commerce maritime des Anglais vont provoquer les premiers développements de la culture betteravière sur 30 000 ha en France afin d'y trouver une autre source d'approvisionnement en sucre que la canne. À cette époque, Benjamin Delessert industrialise le procédé de fabrication du sucre de betterave. Cet « ersatz » du sucre de canne importé a connu, depuis lors, un essor considérable, non seulement en France mais dans de nombreuses régions du monde.

Les méthodes de sélection ont évolué au cours du temps. Bien avant l'arrivée de Gregor Mendel, la sélection massale (on garde les meilleurs individus) était devenue sélection généalogique (on sépare les descendance) grâce à la famille de Vilmorin au XIX<sup>e</sup> siècle. Par ailleurs, à la demande de Florimond Desprez, et sous l'impulsion de Louis Pasteur et Charles Viollette, tous deux successivement doyens de la faculté des sciences de Lille, le dosage du sucre par densité a laissé place à la méthode chimique par réduction des sels de cuivre.



Napoléon, initiateur de la betterave et protecteur de l'industrie (Musée des Beaux-Arts de Lille).

Le laboratoire  
Florimond  
Desprez à ses  
début (aquarelle  
peinte en 1893).



La découverte par V.F. Savitsky en 1948 de betteraves monogermes d'une part, et la description par F.V. Owen en 1952 de la stérilité mâle cytoplasmique de la plante d'autre part, ont offert aux sélectionneurs la possibilité de produire des hybrides monogermes. Ces derniers ont permis d'effectuer des semis réguliers et de mécaniser la culture de la betterave en s'affranchissant de la main-d'œuvre qui était nécessaire au démariage, indispensable pour les betteraves multigermes.

### QUE SIGNIFIE AKER ?

Aker est un dieu égyptien représenté par deux lions dos à dos, l'un regardant le soleil se lever (dans notre contexte, les ressources génétiques) et l'autre regardant le soleil se coucher (dans notre contexte, le matériel élite). Aker est le « saint Christophe » des dieux égyptiens, transportant d'un monde à l'autre sur son dos le soleil qui, selon les croyances anciennes, s'enfonçait à l'ouest dans la terre. La symbolique des deux lions peut également être associée au partenariat entre le Public et le Privé, et la phonétique du nom AKER sonne comme *Hacker*, celui qui casse le code (génétique).

Le visuel de la betterave vient se positionner entre les deux lions, dont les feuilles s'enchevêtrent dans les crinières. Il rappelle qu'AKER est un programme de recherche pour l'amélioration de la compétitivité de la betterave sucrière, dont l'échéance est inscrite dans la signature « Betterave 2020 ».



Betterave2020



L'amélioration de la betterave retrace bien l'amélioration des plantes cultivées, à laquelle l'entreprise de sélection Florimond Desprez contribue depuis cinq générations. Aujourd'hui, avec le génotypage et le phénotypage haut débit, avec le séquençage et le marquage moléculaire, avec la bio-informatique et la sélection génomique, ainsi que l'exploration systématique de la diversité génétique au sein des betteraves cultivées et des genres *Beta* utilisables en croisement... le programme AKER apporte sa pierre à l'édifice de cette construction toujours en évolution.

## ■ Les objectifs du programme AKER

À son lancement, en 2012, le programme AKER correspondait au souhait de remettre la betterave au centre du terrain de jeu des grandes cultures ; à la volonté d'en refaire un des supports scientifiques de la recherche agronomique ; à l'opportunité de s'inscrire dans les Programmes d'investissements d'avenir et de bénéficier de la dynamique du « Grand emprunt » lancé par les pouvoirs publics de l'époque.

### Deux volets

Le premier volet du programme AKER se propose d'identifier la diversité génétique, de constituer une collection de référence allélique et d'opérer des croisements avec du matériel élite (matériel aux performances agronomiques correspondant aux attentes du marché), de manière à élargir la diversité génétique exploitable, à accélérer le progrès génétique et à obtenir de nouvelles variétés à haut potentiel.

Concomitamment, le second volet consiste, de manière originale, à valoriser toute la diversité acquise, à la contrôler et à l'évaluer par de nouvelles méthodes de phénotypage et de génotypage basées sur les outils à haut débit.

### Quatre étapes

Sur le plan du matériel biologique, le programme AKER s'est déployé en quatre étapes et ouvre dorénavant sur la production de variétés améliorées, inscriptibles au Catalogue officiel des variétés et cultivables :

- la première étape (2012 et 2013) a consisté à identifier seize plantes de référence à partir de 10 000 ressources génétiques collectées et résumant la diversité disponible pour tous les allèles fréquents ;
- la deuxième étape (2013 à 2016) a mis en œuvre les croisements de la collection de référence avec du matériel élite pour obtenir des populations-sources variables ;

- la troisième étape (2017) s'est attachée à l'obtention et à la multiplication de ces populations-sources ;
- la quatrième étape (2018 et 2019) a consisté à évaluer et analyser les populations-sources en prenant en compte l'effet année et l'effet lieu ;
- enfin, le programme AKER a abouti à la sélection de nouvelles variétés et aux nouvelles connaissances associées, à partir de 2020.

### QUELLE EST L'EFFICACITÉ DES PROGRAMMES D'INVESTISSEMENTS D'AVENIR ?

« L'action "Biotechnologies-bioressources" du Programme d'investissements d'avenir, initiée en 2011, a financé neuf grands projets, sur des cultures d'intérêt économique majeur pour notre agriculture et notre pays. Ces projets ont permis avant tout d'améliorer la connaissance de ces espèces à travers l'exploration de la diversité des multiples variétés, en s'appuyant notamment sur les acquis du groupement d'intérêt scientifique Génoplante. Ils ont aussi permis de consolider des partenariats public-privé, en favorisant les investissements des entreprises sur le territoire national, et de développer pour les années à venir de nouvelles variétés plus à même de répondre aux besoins des agriculteurs, des industriels et des consommateurs, ainsi qu'aux grands enjeux du changement climatique. Enfin, ces projets de long terme ont favorisé la formation d'une nouvelle génération de chercheurs, à travers l'implication de nombreux doctorants et post-doctorants. »

Guillaume Boudy, secrétaire général du SGPI  
(Secrétariat général pour l'investissement)

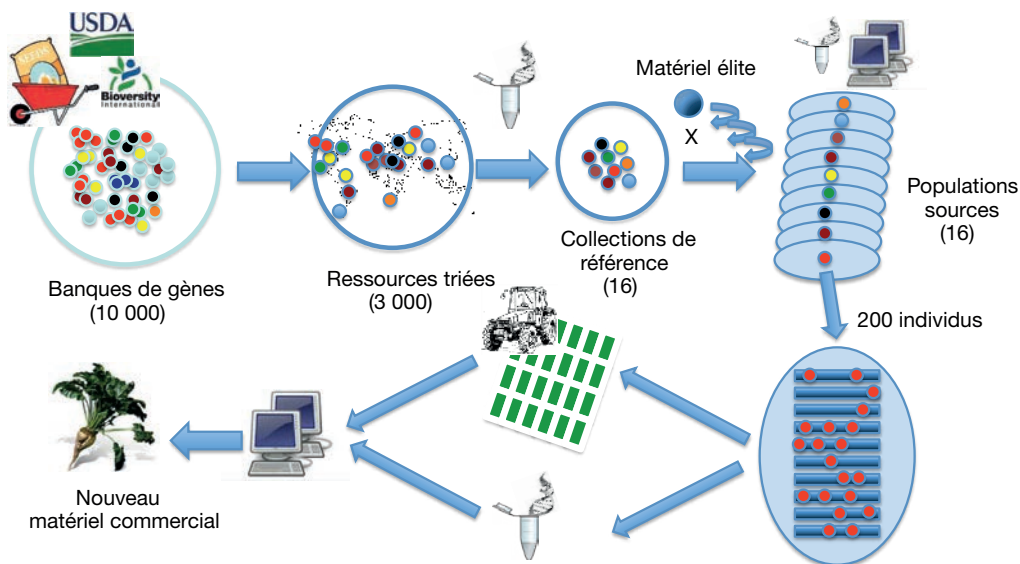


Schéma général du programme AKER, conçu à l'origine du projet.





## AKER en bref

AKER vise à améliorer la compétitivité de la betterave à l'horizon 2020 en doublant le rythme de croissance annuelle de son rendement en sucre par hectare.

AKER s'inscrit dans les Programmes d'investissements d'avenir ; il est porté par onze partenaires publics et privés représentant l'ensemble de la filière betterave française.

AKER est un programme original et innovant qui concerne à la fois la recherche, le développement et la formation ; il confirme la betterave comme plante et filière de référence.

AKER, c'est aussi :

- 16 plantes de référence ;
- 40 millions de données moléculaires ;
- 8 km de cages d'hybridation ;
- 3 000 hybrides sélectionnés ;
- 63 000 parcelles de phénotypage au champ ;
- 11 partenaires ;
- 100 collaborateurs (dont 60 chercheurs) ;
- 18,5 M€ de budget (dont 5 M€ d'aides de l'État).

## Pour aller plus loin...

Le programme AKER a mis en évidence la totalité de la diversité génétique de la betterave sur la base de seize plantes de référence.

Il développe une nouvelle approche de la sélection qui place le génotypage (analyse de la composition génétique) avant le phénotypage (évaluation des caractères).

Il utilise une nouvelle méthode de sélection (génomique) qui s'appuie sur l'ADN des plantes et de nouvelles techniques de sélection (marquage, lecture du génome).

Il gère un grand nombre de données (par bio-informatique) pour faire de la prédiction.

Il utilise des technologies (imagerie, robotique) en provenance d'autres secteurs de recherche (physique, médecine).

Il s'intéresse au rendement en sucre de la betterave, mais aussi à toutes ses composantes, y compris à la résistance aux maladies et à la valorisation de l'azote, dans le respect de l'environnement.

AKER est à la fois un programme de recherche, de développement et de formation. Il contribue à assurer le renouvellement générationnel des chercheurs.

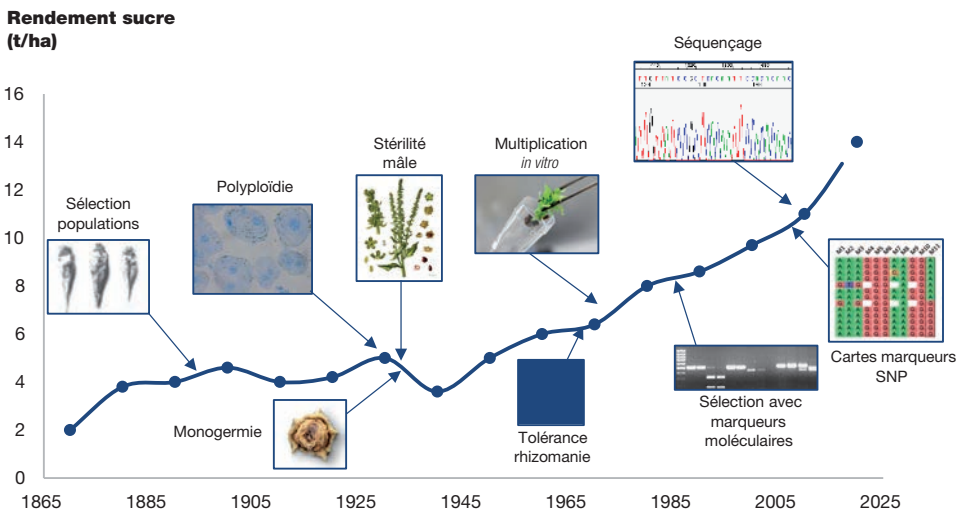
## QUEL EST L'INTÉRÊT DU PROGRAMME AKER POUR INRAE ?

« Au moment où le programme AKER a été lancé, l'Inra, devenu aujourd'hui INRAE, n'avait pas de programme dédié à la betterave sucrière. Et pourtant les contributions de laboratoires et d'équipes de notre établissement ont été très importantes, qu'il s'agisse des travaux en génomique et bio-informatique à Évry et Toulouse, des développements en phénotypage à haut débit à Montpellier en interaction avec l'unité mixte technologique Capte à Avignon, ou encore des travaux sur les semences et les plantules à l'Inra d'Angers et au Geves. Les connaissances scientifiques ont progressé, comme en attestent les nombreuses publications de ces équipes. Mais, au-delà de la science, le programme AKER a démontré la capacité que nous avons à mettre en œuvre, sur une espèce nouvelle, l'ensemble des ressources, méthodes et connaissances développées au sein de l'Institut. Cela élargit considérablement le champ d'impact des travaux de recherche conduits au sein d'INRAE et l'étendue des partenariats. Les avancées cognitives, la qualité du matériel génétique créé dans le cadre d'AKER et les partenariats avec la société Florimond Desprez, l'Institut technique de la betterave, les universités de Lille et d'Angers ou Agrocampus Ouest en sont des démonstrations remarquables. »

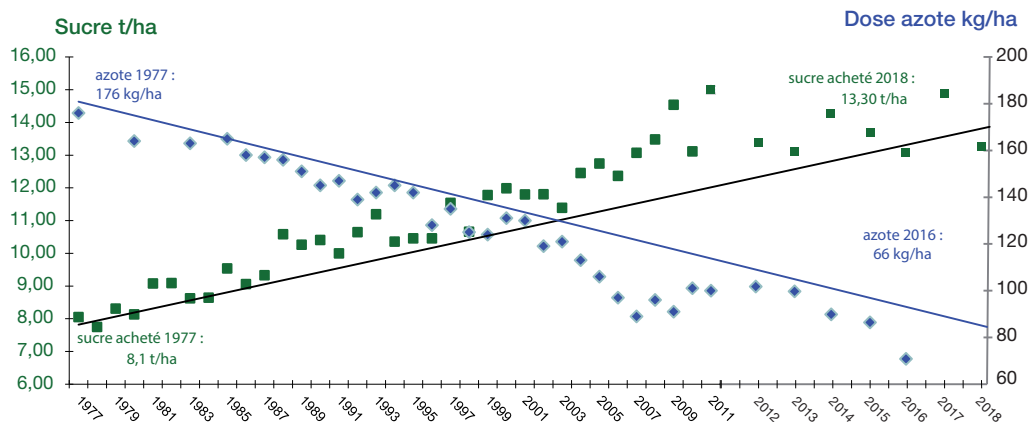
Philippe Mauguin, P-DG d'INRAE

## ■ La betterave aujourd'hui

La betterave est une plante cultivée apparue au début du XIX<sup>e</sup> siècle, dopée par le Blocus continental. Depuis, le rendement et la qualité n'ont cessé de progresser, tandis que les différents intrants nécessaires à la culture baissent au fil du temps.



Évolution du rendement de la betterave au regard des évolutions techniques (tonnes de sucre/ha).



Évolution des apports minéraux azotés (kg/ha) et du rendement en sucre (t/ha).  
Sources : CGB, 1977-1996 ; ITB, 1997-2018.

Les rendements en sucre de la betterave ont été multipliés par plus de vingt en France. Ils sont passés de 700 kg/ha de sucre brut, avec une teneur en sucre de 7 % à l'origine de la culture, à 14 800 kg/ha de sucre blanc avec une teneur en sucre de 18 % dans les meilleures années récentes. Il faut aussi mentionner les améliorations au niveau du processus industriel sucrier, qui ont permis à terme l'extraction d'un sucre de qualité bien supérieure. Enfin, la consommation énergétique à la tonne de betterave a été divisée par deux en 40 ans.

Mais le progrès génétique ne se mesure pas à la « simple » productivité en sucre. Le bilan environnemental de la betterave est devenu particulièrement remarquable. Depuis 1983, on a observé une baisse de 50 % des quantités de produits phytosanitaires utilisés (fongicides, insecticides, herbicides), une part de cette baisse étant liée à l'évolution des matières actives à la fin des années 1990. La tendance se poursuit avec un investissement fort des betteraviers vers des modes de culture raisonnés. Depuis 40 ans, la quantité d'azote apportée à la betterave a baissé de 68 % par tonne de sucre produite. Tous ces progrès résultent d'une amélioration interdépendante des techniques culturales, des agroéquipements et de la sélection variétale.

## ■ Ce qui a changé depuis le lancement d'AKER

Depuis le lancement du programme AKER en 2012, la filière betteravière a connu des transformations majeures en s'inscrivant dans une démarche de progrès continu tant en termes de productivité que d'efficacités économique et environnementale.

Ces modifications touchent l'ensemble de la chaîne de production, de la graine de betterave à la commercialisation du sucre, en passant par la culture et la transformation en sucre et en alcool. Elles ont un impact direct sur l'économie de la filière et ses pratiques agricoles.

### La fin des quotas européens

La première de ces transformations, et certainement la plus importante pour l'organisation de la filière, est la fin des quotas sucriers. Le 1<sup>er</sup> octobre 2017, le système qui règlementait le secteur sucrier européen a pris fin. Les quantités produites ne sont désormais plus encadrées et la libéralisation du marché permet à chaque acteur de la filière de produire autant de sucre qu'il le désire, en vue, entre autres, de l'exporter.

Ainsi, dès la campagne suivante, alors même que les pays tiers continuaient d'accroître leurs volumes dans des proportions inédites, la production européenne de sucre a augmenté. Très rapidement, la production et les stocks

de sucre mondiaux ont été confrontés à des excédents provoquant un effondrement des cours. Ceux-ci se sont alors établis à leur plus bas niveau depuis dix ans, engendrant une perte de rentabilité pour le secteur et se traduisant par des décisions de réorganisation, des restructurations, des fermetures d'usines et un ajustement de la rémunération des planteurs de betterave.

Le binage des betteraves est une alternative au désherbage chimique.

