



The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.

Un cas d'innovation: l'isoglucose

M. Zitt

Citer ce document / Cite this document :

Zitt M. Un cas d'innovation: l'isoglucose. In: Économie rurale. N°158, 1983. pp. 42-50;

doi : <https://doi.org/10.3406/ecoru.1983.3010>

https://www.persee.fr/doc/ecoru_0013-0559_1983_num_158_1_3010

Fichier pdf généré le 08/05/2018

Abstract

Among the post-war technological innovations in the food processing area, High Fructose Corn Syrup is an outstanding case from several points of view : economical and political issues, scientific and technical significance, complexity of the innovation process. Milestones of the historical process are reviewed. Each of three converging branches (corn syrup processing, carbohydrate isomerizing, enzyme immobilisation) displays a specific kind of logic. The innovation process scheme is compared with classical hypotheses dealing with the economic determination of technical progress: a) early economic information of the innovation process, b) positive effect of industrial concentration on innovation.

First, it is argued that in this case the so-called « marked pressure » and « technological opportunity » logic, when precisely combined in typical « technological transfers », are complementary rather than antagonistic. On the second point, the history of HFCS suggests that efficiency of industrial concentration, very high in the last stages (innovation), decreases when going back to the invention stages. Then the returns on the R-D investments in the HFCS market were rewarded to individual firms while the oligopolistic structure remained unaffected.

Résumé

Parmi les innovations technologiques qui ont modifié depuis la guerre la physionomie de l'agro-industrie, l'isoglucose est l'une des plus importantes et des plus complexes, à la fois par son enjeu économique et politique, par sa portée scientifique et technique, par l'histoire de son développement. Les principales étapes de sa mise au point sont passées en revue. Le processus innovateur est caractérisé par la convergence de trois branches, la fabrication des sirops de glucose, l'isomérisation des sucres, l'immobilisation d'enzymes, présentant chacune une logique particulière. Le schéma du processus est confronté à quelques hypothèses traditionnelles relatives au déterminisme économique du progrès technique : a) l'information économique précoce des processus d'innovation, b) l'effet positif de la concentration industrielle sur l'innovation.

Sur le premier point, l'analyse montre que dans le cas particulier de l'isoglucose les logiques dites de la « pression du marché » et de l'« opportunité technologique », associées de manière précise dans un « transfert technologique » type, sont plus complémentaires qu'antagonistes. Sur le second point; la genèse de l'isoglucose accrédite, avec des nuances, l'idée d'une efficacité de la concentration allant en décroissant vers l'amont du processus : l'oligopole, très performant au stade de l'innovation, a mal maîtrisé les phases antérieures. Enfin si les effets de l'investissement risqué de recherche-développement sur l'isoglucose ont affecté la position individuelle de chaque firme, les répercussions sur la structure oligopolistique du marché sont peu sensibles.

UN CAS D'INNOVATION : L'ISOGLUCOSE

M. ZITT*

Résumé :

Parmi les innovations technologiques qui ont modifié depuis la guerre la physionomie de l'agro-industrie, l'isoglucose est l'une des plus importantes et des plus complexes, à la fois par son enjeu économique et politique, par sa portée scientifique et technique, par l'histoire de son développement.

Les principales étapes de sa mise au point sont passées en revue. Le processus innovateur est caractérisé par la convergence de trois branches, la fabrication des sirops de glucose, l'isomérisation des sucres, l'immobilisation d'enzymes, présentant chacune une logique particulière. Le schéma du processus est confronté à quelques hypothèses traditionnelles relatives au déterminisme économique du progrès technique : a) l'information économique précoce des processus d'innovation, b) l'effet positif de la concentration industrielle sur l'innovation.

Sur le premier point, l'analyse montre que dans le cas particulier de l'isoglucose les logiques dites de la « pression du marché » et de l'« opportunité technologique », associées de manière précise dans un « transfert technologique » type, sont plus complémentaires qu'antagonistes. Sur le second point, la genèse de l'isoglucose accrédite, avec des nuances, l'idée d'une efficacité de la concentration allant en décroissant vers l'amont du processus : l'oligopole, très performant au stade de l'innovation, a mal maîtrisé les phases antérieures. Enfin si les effets de l'investissement risqué de recherche-développement sur l'isoglucose ont affecté la position individuelle de chaque firme, les répercussions sur la structure oligopolistique du marché sont peu sensibles.

Summary :

A TECHNOLOGICAL INNOVATION : HIGH FRUCTOSE CORN SYRUP

Among the post-war technological innovations in the food processing area, High Fructose Corn Syrup is an outstanding case from several points of view : economical and political issues, scientific and technical significance, complexity of the innovation process. Milestones of the historical process are reviewed. Each of three converging branches (corn syrup processing, carbohydrate isomerizing, enzyme immobilisation) displays a specific kind of logic. The innovation process scheme is compared with classical hypotheses dealing with the economic determination of technical progress : a) early economic information of the innovation process, b) positive effect of industrial concentration on innovation.

First, it is argued that in this case the so-called « marked pressure » and « technological opportunity » logic, when precisely combined in typical « technological transfers », are complementary rather than antagonistic. On the second point, the history of HFCS suggests that efficiency of industrial concentration, very high in the last stages (innovation), decreases when going back to the invention stages. Then the returns on the R-D investments in the HFCS market were rewarded to individual firms while the oligopolistic structure remained unaffected.

Le présent article résume une monographie (1) traitant de l'origine d'une innovation dont personne n'ignore le retentissement : les sirops à haute teneur en fructose (SHTF ou « isoglucose »), apparus vers 1970, qui constituent le premier véritable substitut du sucre de betterave ou de canne (saccharose) dans ses utilisations industrielles à l'état liquide : sucre liquide, sucre inversé (2). Rappelons que le sucre industriel représente dans les pays développés un débouché du même ordre (3) que le sucre solide de consommation finale. L'isoglucose place donc en concurrence directe deux des filières les plus puissantes et organisées de l'agro-industrie : la céréalière et la sucrière. Il confronte les intérêts corporatistes et nationaux associés à chacune, en schématisant les multinationales américaines du grain d'un côté, l'industrie betteravière et sucrière de la CEE de l'autre. Vu d'une Europe exportatrice de sucre et importatrice de maïs, face aux Etats-Unis en position symétrique, tel est effectivement l'enjeu. Outre-Atlantique la concurrence sucre-isoglucose est moins frontale, dans le court terme, en raison de la place déjà acquise par les édulcorants comme le sirop de glucose, dérivé principalement de l'amidon de maïs. Le glucose se trouve en première ligne des produits déplacés par le SHTF dont les caractéristiques techniques, équivalentes à celle d'un édulcorant standard d'origine sucrière, sont plus recherchées dans un grand nombre d'emplois. Un coût de production intermédiaire entre celui des sirops de glucose et des édulcorants sucriers permet à l'isoglucose de concurrencer efficacement les premiers par la valeur d'usage et les seconds par les prix, jusqu'à l'apparition des SHTF de seconde génération qui exploitent également l'avantage du fructose en pouvoir sucrant.

Le développement commercial de l'isoglucose est impressionnant : ce produit né en 1967, d'une diffusion confidentielle jusqu'en 1972, dépasse dix ans plus tard en production mondiale les 3 millions de tonnes (sucre : 100 millions de tonnes) et atteint aux Etats-Unis une consommation par tête de 11 kg (sucre : 35 kg). Le SHTF représente probablement le changement le plus profond, imputable à une innovation technologique singulière, intervenu dans l'industrie alimentaire depuis longtemps. De plus, à l'instar d'autres innovations dont l'impact économique n'est pas encore comparable (protéines végétales, irradiation, etc.), l'isoglucose incorpore un savoir et un savoir-faire qui ont été accumulés au cours d'un processus long et complexe. Enfin cette innovation mixte procédé-produit est significative de tendances lourdes d'évolution technologique dans les bioindustries : le développement des marchés de produits intermédiaires affranchis d'une source agricole unique, et l'émergence d'un nouvel opérateur technique, les « enzymes immobilisées », dont la production d'isoglucose est à ce jour la plus importante application industrielle. Autant par son contenu scientifique et technique que par sa diffusion et ses enjeux économiques ou politiques, le dossier de cette innovation mérite examen.

La première partie de l'exposé esquisse l'historique des principales branches de connaissance dont la convergence a donné naissance à l'innovation : hydrolyse de l'amidon, isomérisation du glucose en fructose, immobilisation d'enzymes. Quelques indications complémentaires sont données sur la propagation de l'isoglucose et son contexte dans les premières années. Dans la seconde partie on avancera quelques commentaires sur le processus innovateur.

* Michel Zitt est chercheur à l'INRA, Laboratoire d'études et de recherches économiques sur les industries agricoles et alimentaires, Centre de Recherches de Nantes, Chemin de la Géraudière 44072 Nantes Cédex.

1. Pour la commodité de lecture l'exposé technique est très résumé et allégé de ses références. Une version complète constituant l'une des monographies destinées à illustrer notre étude INRA-DGRST (1981) est disponible sous le titre : « Genèse des Innova-

tions en Technologie Alimentaire 1945-1980 : le cas de l'isoglucose » INRA Nantes 1983. Dans le cadre de cette étude, nous sommes redevables à G. DOUSSAU d'un premier travail sur le sujet (Doussau, s.l.d. Zitt, 1979).

2. Un rappel technique figure en annexe (cf. annexe 1).

3. Industries utilisatrices : boissons, boulangerie-biscuiterie-pâtisserie, conserverie, chocolaterie-confiserie, crèmes glacées, etc.

HISTORIQUE DE L'ISOGLUCOSE

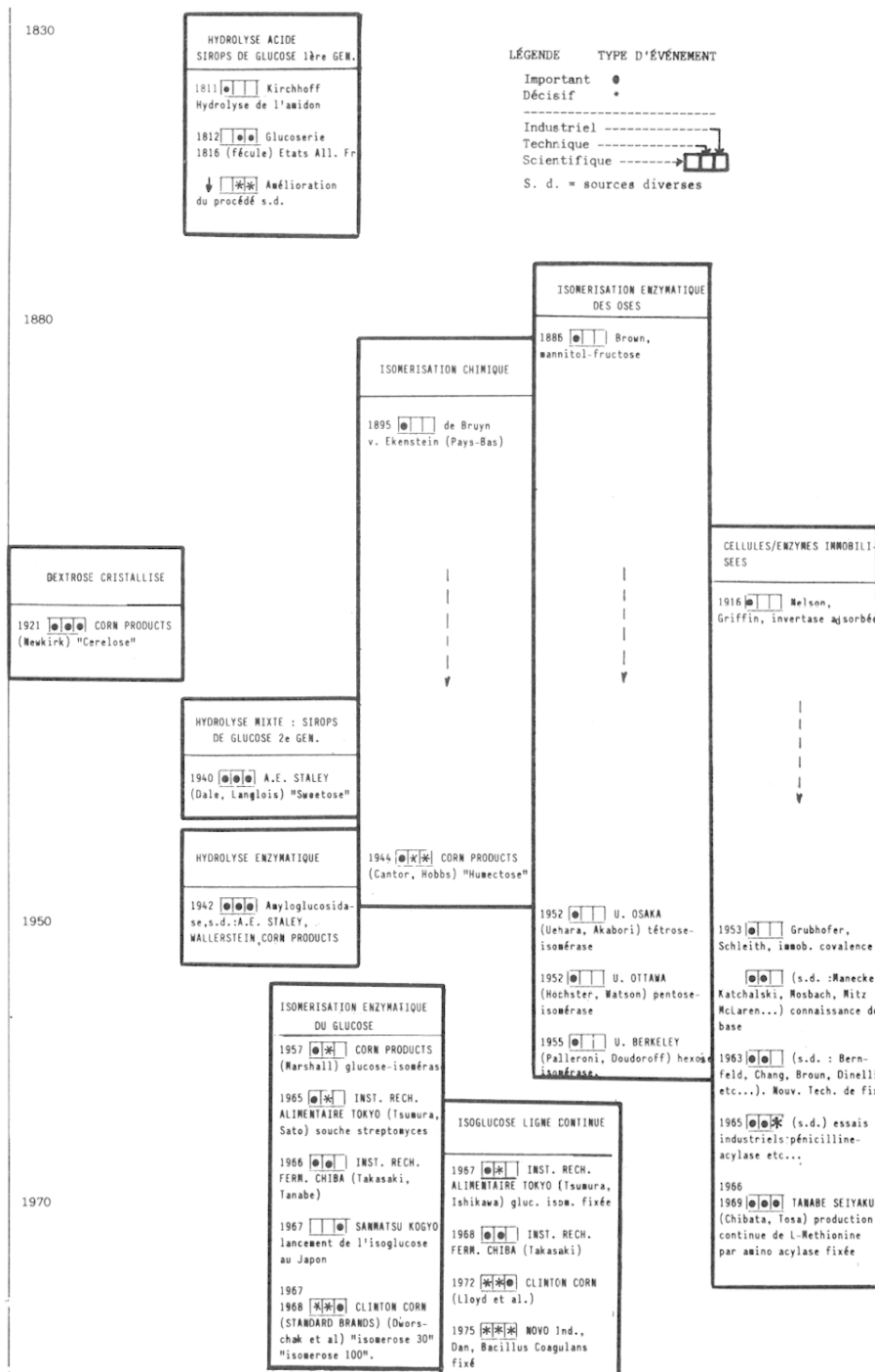
1. L'HYDROLYSE DE L'AMIDON

L'histoire (4) des sucres d'amidon, comme celle de l'appertisation, commence avec Napoléon. Les blocus ont de tous temps stimulé une certaine créativité et c'est dans la période 1811-1814 que plusieurs scientifiques dont Kirchhoff obtiennent un jus sucré à partir d'amidon en milieu acide. Ce résultat majeur, identifié ensuite à une hydrolyse, débouche sur une exploitation industrielle de la fécule en Allemagne, puis en France dès 1814. La substituabilité des hydrolysats, puis des sirops de glucose qui suivront, reste très imparfaite par rapport au sucre : faible pureté (5), faible pouvoir sucrant. Leur bas prix et certaines propriétés

(fermentescibilité) leur assurent un débouché régulier mais modeste. Aux Etats-Unis, plus gros producteur et consommateur, le marché annuel ne dépasse pas 500.000 tonnes avant 1939.

Comme la découverte de l'hydrolyse acide a fondé la chimie de l'amidon, celle de l'hydrolyse par voie enzymatique a largement contribué à l'essor de l'enzymologie (Payen et Persoz, 1833). Le système de l'amylase, utilisé de longue date empiriquement, y compris dans la fabrication de sirops (« sirop de malt » américain), n'est élucidé que dans les années 1940 avec l'identification de l'amyloglucosidase. Des préparations enzymatiques sont commercialisées depuis la fin du 19^e siècle, mais la fabrication de sirop de glucose par cette voie est économiquement impraticable. En 1940, Dale et Langlois de la société A.E. Staley ont l'idée

Figure 1. — Chronologie du processus



4. En dehors de la version développée du présent exposé, nous renvoyons le lecteur à deux publications traitant explicitement de l'histoire des SHTF : l'article de J.P. Casey (1976) qui analyse de l'intérieur de l'industrie et sans complaisance ce cas d'innovation, et l'étude très détaillée de B. Peckham (Mueller et al., 1982), p. 83-127. Voir aussi Doussau (1979). La chronologie et la structure du processus sont résumées dans les figures 1 et 2.

5. Il a fallu attendre 1922 (brevet Newkirk Corn Products Refining Co) pour disposer d'une méthode satisfaisante de séparation du glucose qui a donné naissance à l'industrie du glucose cristallisé ou « dextrose ». Cette société, aujourd'hui CPC (Corn Products Corp.), bénéficie depuis le début du siècle d'une position dominante dans la branche des dérivés de l'amidon. Elle est restée particulièrement écrasante sur le marché du dextrose.

d'associer un traitement enzymatique de finition à une hydrolyse acide : cette transformation poussée conduit à un produit de meilleure qualité et de plus grand pouvoir sucrant, commercialisé sous la marque « Sweetose ». Il profite de la poussée de la demande liée à la relative pénurie de sucre pendant le conflit, puis trouve durablement sa place sur un marché revenu dès 1946 à son étiaje d'avant-guerre : le nouveau produit se substitue à l'ancien sans croissance induite du marché global. La situation évolue à la fin de la décennie : comme l'avait prévu Langlois, l'amélioration des connaissances permet la commercialisation d'enzymes aux propriétés fonctionnelles définies, combinables de manière rationnelle et contrôlée : cette standardisation-différenciation, dans la logique du développement industriel va se traduire par une expansion régulière du marché des sirops de glucose (et des enzymes correspondantes) contrastant avec la stabilité enregistrée dans la période précédente. Les difficultés réapparaîtront en 1967-68, lorsque la surcapacité de la branche entraînera des guerres de prix.

2. DU GLUCOSE AU FRUCTOSE : NAISSANCE D'UNE INNOVATION

Le pouvoir sucrant élevé du fructose, par rapport au saccharose et surtout au glucose, motivait une forte pression de la recherche appliquée sur les procédés de conversion d'une molécule à l'autre. On connaissait depuis 1895 des procédés d'isomérisation alcaline, mais les effets indésirables de la réaction ne purent être économiquement éliminés (cette voie ne mena qu'à des expériences commerciales peu convaincantes comme celle de l'« Humectose » sorti des laboratoires de Corn Products dans les années quarante).

La solution viendra de plus loin. Les années cinquante, avec l'essor de la biochimie, voient se multiplier les recherches sur le métabolisme. Des mécanismes d'isomérisation enzymatique entre les deux familles structurales (aldose et cétose) auxquelles appartiennent respectivement le glucose et le fructose, sont d'abord identifiés sur un sucre en C4 (1952), puis sur un sucre en C5, le xylose (1953). La découverte de la xylose-isomérase est un événement scientifique non négligeable : le rôle des sucres, en particulier des pentoses, dans le métabolisme passionne les biologistes. Les laboratoires industriels sont beaucoup moins intéressés. En 1954, Hochster et Watson, du NRC d'Ottawa, tentent l'isomérisation glucose-fructose (C6) par la xylose-isomérase. C'est l'échec, mais cette fois l'article est attentivement lu par la direction des recherches de Corn Products qui engage un programme, et un biochimiste, R.O. Marshall, sur cette question. Dès 1957, celui-ci démontre que placée dans certaines conditions l'enzyme identifiée comme xylose-isomérase convertit également le glucose en fructose. Mais le brevet qui suit (1960) rencontre des difficultés d'application autant économiques que techniques. La société décide de réorienter ses recherches vers des directions jugées plus rentables à court terme ; et l'ensemble de l'industrie, qui voit dans l'échec de Marshall la condamnation économique au moins temporaire de la filière glucose-isomérase, lui emboîte le pas.

A la suite de cette erreur d'appréciation la décennie 60 sera aussi japonaise et institutionnelle que la précédente avait été américaine et industrielle. Le Japon, lourdement dépendant des importations de sucre, s'intéresse à toute perspective technologique lui permettant soit de valoriser ses ressources nationales, soit d'effectuer lui-même la transformation des matières premières. Sitôt connus les travaux de Marshall, la recherche japonaise aborde méthodiquement l'isomérisation du glucose, avec un objectif commercial à long terme : il s'agit essentiellement de recherches institutionnelles où l'industrie n'est qu'indirectement impliquée (MITI) (6).

Les premiers résultats fondamentaux proviennent principalement de trois sources : l'Université Kagawa (K. Yamanaka), l'Institut de Recherche sur l'Alimentation de Tokyo, dépendant du Ministère de l'Agriculture (N. Tsumura, T. Sato), l'Institut de

Recherche sur les fermentations de Chiba (Y. Takasaki, O. Tanabe), dépendant d'une agence du MITI. Ces équipes s'efforcent d'abord d'élargir l'éventail des sources microbiennes de glucose-isomérase. Dès 1964, Tsumura et Sato découvrent que le genre *Streptomyces* constitue une source beaucoup plus satisfaisante que les précédentes, et ne nécessite notamment pas de catalyseurs toxiques. Un brevet est aussitôt déposé (Tsumura, Sato 1964). L'équipe Takasaki-Tanabe sélectionne par criblage une souche prometteuse (Takasaki, 1965, 1966). Le MITI dépose les brevets dans les grands pays industriels et l'« interface » recherche-industrie fonctionne : il faut deux ans pour améliorer le produit et le lancement commercial proprement dit intervient en 1967 (société Sanmatsu Kogyo), précédant de peu la commercialisation de l'isoglucose aux Etats-Unis.

En effet, l'industrie américaine (Corn Products, A.E. Staley, etc.) incitée à la vigilance par l'intense activité scientifique japonaise, paraît redécouvrir en 1965 le potentiel commercial de l'isomérase (Casey, 1978, p. 29). Contacts et négociations s'en suivent. En définitive la division Clinton Corn de Standard Brands obtient la concession exclusive des droits du procédé Takasaki-Tanabe. Clinton Corn apporte à celui-ci une série d'améliorations (rendement, durée de vie de l'enzyme, pureté du produit) qui l'engagent au lancement commercial sous les marques Isomerase 30 (15 % de fructose) début 1967, puis Isomerase 100 (42 % de fructose) en 1968. Clinton ouvre aux Etats-Unis le marché de l'isoglucose. Il sera suivi en 1971 par A.E. Staley, son sous-licencié.

Cependant, le processus de production reste lent et discontinu, ce qui grève le coût de production et comporte quelques inconvénients quant à la qualité du produit (coloration). Dans la plupart des branches des IAA et de la chimie le passage au continu, composante de l'industrialisation, oriente une partie de l'activité innovatrice. Le contexte est ici favorable, et la mise au point de procédés continus va bénéficier du synchronisme entre les recherches sur la glucose isomérase et sur l'immobilisation d'enzymes (cf. figure 1).

3. L'IMMOBILISATION D'ENZYMES

Dans les procédés classiques les enzymes sont en solution, et par conséquent contaminent le produit et nécessitent des traitements ultérieurs d'élimination ou de récupération, avec une lourde incidence sur les coûts. Or dans les êtres vivants le modèle général pour les enzymes intracellulaires est celui de l'enzyme fixé sur une membrane ou un organite. La transposition à l'industrie de ce modèle efficace et économe présente de nombreux avantages théoriques : moindre gaspillage d'enzymes souvent dispendieuses, contamination réduite ou supprimée, d'où soumission plus aisée aux contraintes de contrôle, d'automatisation, de continuité. Depuis la seconde guerre mondiale, l'intérêt heuristique attaché au modèle fonctionnel de la membrane biologique, et l'intérêt industriel pour un substitut aux technologies enzymatiques classiques à court terme, aux procédés physicochimiques à plus longue échéance, ont tour à tour soutenu les recherches sur l'immobilisation.

C'est dans l'emploi de cellules confinées que l'on peut voir les signes avant-coureurs des développements actuels (par exemple : procédé Pasteur de fabrication du vinaigre, 1864) (7). L'intérêt d'une modélisation expérimentale de l'action des « ferments » apparaît explicitement au début du siècle, mais la communauté scientifique considérera cependant les expériences de Nelson et Griffin (1916), réalisant l'adsorption d'invertase sur charbon de bois et alumine, comme des curiosités de laboratoire. La fixation des protéines donne lieu à des expériences sporadiques, jusqu'à ce que les immunologues entrevoient la possibilité d'absorber des antigènes (1936) puis de les fixer chimiquement par covalence. Entre-temps l'enzymologie a accompli un progrès considérable dans sa constitution en tant que discipline, grâce notamment à la théorie de Michaëlis et Menten (1913) puis aux travaux de Sumner (1926) qui mettent fin à de longues polémiques sur la nature

6. Ministère du Commerce International et de l'Industrie.

7. Le confinement de réactifs chimiques et biologiques est un sujet très vaste dont un versant est plutôt scientifique (description d'écosystèmes comme les sols, par exemple),

l'autre technique (depuis les lits bactériens jusqu'aux colonnes échangeuses et aux réacteurs industriels). L'immobilisation d'enzymes a incorporé par exemple des techniques d'échanges d'ions.

de l'activité enzymatique. La portée théorique et pratique de la fixation de ces opérateurs biologiques attire plusieurs équipes dans les années cinquante (Grubhofer, Zittle, McLaren). A partir de ces premiers résultats la recherche s'internationalise et s'organise autour des noyaux constitués par l'Université Libre de Berlin (Manecke), l'Université de Berkeley (McLaren) et celle de Berne (Brandenberger), le Weizmann Institute of Science en Israël (Katchalski), la société Armour (Mitz), l'Université de Lund (Mosbach).

Après 1960 les perspectives des méthodes de fixation classiques et nouvelles (réticulation, microcapsules, etc.) stimulent plus directement la recherche industrielle chez les fabricants d'enzymes, de supports, de produits alimentaires et pharmaceutiques. En 1966 une équipe de la firme Tanabe Seiyaku (L. Chibata, T. Tosa) parvient à substituer le procédé à aminoacylase soluble que cette société employait depuis 1954 pour la production de L-Méthionine, acide aminé consommé en grande quantité comme complément en alimentation animale. Le nouveau procédé est industrialisé en 1969. Des techniques analogues sont développées pour des produits voisins, ainsi que pour la production d'antibiotiques. Dans d'autres domaines, à côté de nombreux essais au stade pilote - fixation de l'amylglucosidase -, des applications industrielles ou semi-industrielles sont réalisées, par exemple l'immobilisation de la lactase (SNAM, Corning Glass).

Cette discipline de l'«ingénierie enzymatique» en est à ses balbutiements : les experts soulignent que les travaux ont surtout porté sur les réactions de dégradation, le champ de la synthèse restant presque entièrement à explorer. Le contraste reste grand entre quelques remarquables réussites commerciales, principalement celle de la glucose-isomérase détaillée plus loin, et un marché potentiel dont la part aujourd'hui définissable ou relevant d'une prévision technologique raisonnable ne donne qu'une pâle idée.

4. LES PREMIÈRES ANNÉES DES SHTF : ESSOR COMMERCIAL ET TECHNIQUE

Réveillée par les travaux japonais avant d'être définitivement convaincue par la hausse des cours du sucre, l'industrie américaine s'efforce de rattraper son retard. Les firmes ont le choix entre les sous-licences volontiers concédées par Clinton Corn désireux de créer un marché sans monopole trop voyant, et le développement de leurs propres projets que les plus avisées ont lancés dès les publications de Tsumura et de Takasaki. La couverture respective de ces deux brevets, et la rivalité des administrations japonaises à cet égard, dessine une situation complexe : plusieurs firmes vont continuer à exploiter indépendamment des souches de *Streptomyces* (Corn Products, Miles, Baxter-Wallerstein Roquette) ou d'autres genres (Reynolds, Anheuser-Busch, Novo)..

Les débuts de SHTF ne sont guère fulgurants. Le différentiel de prix par rapport au sucre ne suffit pas à faire basculer la clientèle potentielle, mais inaugure un lent mouvement de substitution (cf. plus loin). On assiste, conformément au schéma habituel, à un renforcement mutuel entre développement commercial et améliorations techniques, celles-ci d'autant plus fréquentes et significatives que les réserves de productivité sont intactes en cette phase d'extrême jeunesse du produit. Par un processus ordinaire d'apprentissage, des innovations complémentaires viennent perfectionner une ligne de production complexe, procurer de nouvelles sources de glucose-isomérase et optimiser son action.

Un obstacle majeur à l'accroissement de productivité est levé en 1972 : l'immobilisation de la glucose-isomérase assure définitivement la fiabilité technique et l'avantage économique du procédé. La première solution viable vient en 1969 de l'Institut de Recherche sur les Fermentations de Chiba (Takasaki). Diverses techniques sont étudiées aux Etats-Unis et c'est encore Clinton Corn, dont la structure de recherche s'est renforcée, qui exploite

industriellement pour la première fois sur la base de brevets propres la glucose isomérase immobilisée (8). Parmi les techniques ultérieures, celle développée par Novo Industri (Sweetzyme, 1975) (9), adoptée par les autres leaders du SHTF, connaît une grande diffusion internationale.

Aux initiateurs du marché (Clinton, Staley) vient se joindre Amstar en 1973. En 1974, la crise du sucre va lever les réticences des firmes qui préparaient, par des programmes de recherche lancés quelques années plus tôt, leur entrée sur le marché : Hubinger (Heinz), Car-Mi (Cargill/ Miles/ Bayer), CPC, et surtout ADM (Archer-Daniels-Midland) qui va devenir en quelques années l'un des principaux fournisseurs du marché américain, avec Clinton et Staley. Le produit, le SHTF de première génération (40 à 45 % de fructose), dispose alors d'une image standard et trouve un équilibre relativement stable entre branches clientes : près de la moitié du tonnage est destinée aux boissons, ensuite viennent trois débouchés à peu près équivalents : panification-biscuiterie, conserves, confiserie-sirops-crèmes glacées. Les perspectives sont alors brillantes, mais la situation se retourne brusquement, en partie sous l'action des pays sucriers qui face au «risque de pénurie» ont largement encouragé leurs industries. Les surplus réapparaissent (10). La chute des cours du sucre ne remet pas en cause la percée du SHTF dont la compétitivité repose sur des bases solides, mais pèse sur les profits : à l'intérieur de la branche isoglucose, une dizaine d'entreprises pour la plupart en surcapacité sur des installations non amorties, se livrent une concurrence vigoureuse. En 1976, une seconde génération de SHTF (typiquement 55 et 90 % de fructose) sécurise les débouchés industriels de l'isoglucose et, grâce au sirop à 90 %, ouvre en marge des applications principales le marché des produits diététiques et assimilés (Inglett, 1981, p. 37).

Le SHTF fait désormais partie du paysage agro-industriel américain. Le symbole en est peut-être la formulation nouvelle du Coca-Cola, après celle d'autres produits de la firme, vers 1978 (Food Eng. Int., avril 80, p. 11). Les Etats-Unis constituent la terre d'élection des SHTF, qui viennent à la fois renforcer le cœur du dispositif agro-industriel américain, via les céréales, et accessoirement en résorber à terme un point faible, le déficit sucrier. La situation est différente au Japon et en Europe.

Le Japon, importateur de sucre et de maïs, dispose de sources d'amidon locales, essentiellement la patate douce. Si celle-ci a pu représenter à une époque la matière première des amidonneries japonaises, elle ne constitue plus alors qu'un produit coûteux protégé par un système de quota qui oblige les industriels à y avoir recours dans certaines proportions. A ceci près la concurrence isoglucose-sucre s'effectue dans des conditions plus équilibrées qu'en Europe ou aux Etats-Unis. Selon S. Suzuki (Suzuki, 1978, p. 64) le différentiel de prix explique convenablement entre 1965 et 1976 l'allure de la diffusion du SHTF, restée très lente tant que l'écart des prix n'a pas atteint 20 % (au début des années 70) ce qui donne une idée du «coût du changement». Le marché japonais, environ 130.000 tonnes en 1976, est approvisionné par un petit nombre de firmes dont Mitsubishi.

Quant à l'Europe, elle se «hâte lentement» à suivre les Etats-Unis dans le mouvement d'investissement de 1974-75 : le contexte est politiquement beaucoup moins favorable à l'isoglucose et, microéconomiquement, un peu moins ; mais le produit bénéficie au début, comme aux Etats-Unis, des protections prévues au règlement sucrier. Le premier SHTF européen est livré en 1975, sous licence Clinton, par KSH N.V. (Pays-Bas). Cette firme sera suivie par le groupe GR Amylum (Belgique), Tunnel Rafineries (G.B.), sous licence Staley, CPC Allemagne (Maïzena), CPC France (SPM), Roquette, Liquichimica (Italie) sous licence Cargill-Miles. La production européenne s'établit en 1976 à environ 100.000 tonnes et le potentiel de croissance est considérable. Cette industrie naissante reste largement tributaire de la technologie américaine, quand elle ne dépend pas directement de centres de décision outre-Atlantique. La matière première qu'elle

8. Cette réalisation vaudra à la société Clinton le « Food Technology Industrial Achievement Award » en 1975.

9. Firme danoise, principal fournisseur européen d'enzymes avec la société Gist Brocades (Pays-Bas).

10. 1,8 MT en 76/77 ; 3 Mt en 77/78.

transforme, pour une part, est également d'origine étrangère. L'issue de la crise, qui replace les intérêts sucriers européens en position de force, va mettre fin à un état de chose jugé intolérable. Pendant l'été 1977, la CEE frappe l'isoglucose d'une double mesure restrictive : la restitution sur le maïs est supprimée et l'isoglucose, considéré comme source d'excédents, est taxé. Son industrie, brutalement marginalisée, va apprendre à vivre dans la discrétion. L'isoglucose est intégré en 1981 au règlement sucrier communautaire, mais avec ses propres quotas dont le niveau est éloquent : moins de 0,2 Mt (m.s) pour l'ensemble de la CEE, à comparer à quelque 12 Mt pour le sucre (11). Dernier pays de la CEE à autoriser l'isoglucose (1979), la France en réglemente l'emploi au coup par coup (12) limitant ainsi son accès au marché le plus porteur, celui des boissons.

5. LA DIFFUSION ET SES FACTEURS

Les facteurs qui régissent la diffusion du SHTF sont particulièrement complexes, d'abord parce que ce produit s'insère dans un système touffu de marchés agricoles (betterave, canne, maïs et autres amylacés) et industriels (huile, gluten, sucre, édulcorants), ensuite parce que certains de ces marchés ont un caractère vital pour les intérêts nationaux et sont donc très dépendants des décisions politiques, enfin parce qu'une évolution technologique rapide peut affecter autant l'isoglucose que ses substituts.

Néanmoins, dans le contexte précis du marché américain qui n'a eu à subir, grâce à la bienveillante neutralité de l'administration, aucun infléchissement brutal de l'environnement réglementaire, la diffusion de l'isoglucose mesurée en part de marché des produits sucrants caloriques (PSC) liquides et solides apparaît comme un phénomène remarquablement régulier. Il semble insensible aux fluctuations de l'un des moteurs de la substitution, le différentiel de prix par rapport au saccharose (cf. annexe 4) dont l'action s'exercerait en termes de seuil ou de tendance. La régularité de la diffusion est attestée empiriquement par un excellent ajustement au modèle logistique introduit par Griliches (Griliches, 1957, p. 503-504), où le marché potentiel donne le plafond d'une courbe symétrique en « S » (Giannini Foundation, Carman, Thor, 1979, p. 43). Ce modèle classique rend bien compte du développement lent mais accéléré des débuts comme de la décélération constatée aujourd'hui, la « fin du boom » (titre d'Agra-Alimentation, du 5 mai 1983). La plage des valeurs plafond compatibles avec un bon ajustement est encore trop large

pour permettre une prévision du marché potentiel à partir de ce modèle. Compte tenu des usages couverts par la gamme actuelle des SHTF, le maximum théorique du marché potentiel représente environ la moitié du marché total des PSC. Le rapport Giannini estimait le marché potentiel à 50 % de ce maximum, soit 25 % du total PSC. Il semble aujourd'hui raisonnable de réviser ce chiffre en hausse : dans l'hypothèse d'un plafond à 32 %, la consommation par personne de SHTF serait en 1985 de 35 livres (soit 21 % du total PSC) contre 27 en 1982 (cf. figure 3 et annexe 2).

L'écart de prix ne traduit qu'imparfaitement celui des coûts de production ; les estimations de ce coût, de l'aveu même de leurs auteurs, sont peu fiables (cf. annexe 3). Il s'en dégage cependant que la compétitivité de l'isoglucose vis-à-vis du sucre repose sur deux avantages durables : d'une part les produits liés dans la transformation du maïs - huile, gluten - se valorisent beaucoup mieux que les sous-produits du sucre ; d'autre part à production annuelle égale la capacité installée est beaucoup plus faible qu'en sucrerie de betteraves (campagne de trois mois) ce qui compense et au-delà le surcoût d'investissement à capacité égale (13).

La situation n'est évidemment pas figée à l'avantage de l'isoglucose ; ainsi par exemple la productivité betteravière a fortement augmenté dans les dernières années. L'évolution des techniques fait peser d'autres hypothèques : comme elle a bénéficié au SHTF - et toute perspective de développer un concurrent direct du sucre solide, l'isoglucose cristallisé, n'est pas écartée - elle pourrait demain servir un autre substitut. L'éventualité de la découverte d'une molécule à fort pouvoir sucrant et sans effets indésirables contère aux équilibres de la branche une certaine précarité. Il faut se rappeler que les cyclamates représentaient en 1969, date de leur interdiction, un édulcorant massivement employé dans les boissons carbonatées, parfois associé à la saccharine. Les édulcorants de synthèse se sont fait quelque peu oublier au cours des années 70 qui ont vu le succès de l'isoglucose, mais il y a des candidats à la succession (14).

Enfin faut-il revenir sur l'extrême sensibilité du marché aux décisions des Etats et aux tractations internationales ? La situation de l'isoglucose en Europe, réduit à la portion congrue, le rappelle suffisamment. L'Accord International sur le Sucre, actuellement en négociation, ne devrait pas changer cette donnée fondamentale : l'avenir dira de quel prix aura été payé l'éloignement d'une menace immédiate sur l'un des fleurons de l'agro-industrie européenne.

QUELQUES HYPOTHÈSES FACE A UN CAS D'INNOVATION

La question de l'intégration science-technique-société n'est pas propre à l'économie, comme en témoignent notamment les controverses entre sociologues et historiens adversaires ou partisans du déterminisme social du progrès technique ; celui-ci, on le sait, a même été passablement négligé par les sciences économiques jusqu'aux années trente, où il a commencé à reconquérir la place centrale qu'il occupait chez Marx. Un intérêt grandissant s'est alors manifesté, d'abord pour ses effets sur la répartition des facteurs - problème de la « neutralité » - puis pour sa logique d'apparition et notamment l'anticipation de ces effets - problème de l'« induction ». Les noms de Hicks, Harrod, Robinson, Solow, sont parmi beaucoup d'autres associés à cette réhabilitation. Mais il reste, même chez les auteurs les plus engagés dans la réévaluation du progrès technique, comme Schumpeter, cette

censure disciplinaire que décrit Blaug (15). Dans l'attente d'ambitieux systèmes intégrés, des corps d'hypothèses ont été proposés, souvent à partir de travaux empiriques et économétriques (16). Il est inévitable d'en confronter quelques-unes à la description d'un processus d'innovation particulier, bien que l'exercice n'ait aucune signification statistique.

Nous nous en tiendrons à deux questions, celle de l'information économique précoce du processus innovateur et celle du lien entre concentration industrielle, invention et innovation. Il faut néanmoins rappeler les limites du genre : sans les mettre à l'abri de « désenchantements » formalistes, la complexité des processus innovateurs (PI) décourage toute tentative de normalisation descriptive (17). Les simplifications propres à chaque auteur sont

11. Quota A + B pour la campagne 81/82, reconduit depuis. Source : règlement communautaire sucre n° 1785/81 du Conseil des Ministres du 30 juin 1981. J.O. Communauté Européenne 1^{er} juillet 1981. Ce règlement porte organisation du marché jusqu'à la campagne 1985/86.

12. Arrêté du 5 juin 1979 du Ministère de l'Agriculture. J.O. du 9 août 1979 réglementant l'emploi de préparations enzymatiques dans la fabrication de sirops de sucre. Jusqu'à cette date, une firme comme Roquette doit donc exporter toute sa production.

13. A titre d'exemple, pour la capacité nominale (cf. ann. 3) de 32.000 boisseaux/jour soit 155.000 tonnes/an d'isoglucose (équivalent sec), l'investissement est estimé en 1982 à 100 millions de dollars.

14. Parmi lesquels l'aspartame, découvert fortuitement en 1965 dans les laboratoires de la société pharmaceutique SEARLE, peut-être promis à un brillant avenir si la Food and Drugs Administration veut considérer ses inconvénients comme mineurs pour une utilisation dans les boissons.

15. « Les théories économiques du progrès technique se sont traditionnellement limitées aux « innovations » laissant de côté les « inventions » : on se représente l'entrepreneur confronté avec une liste d'inventions connues mais non exploitées parmi lesquelles il peut faire un choix. La façon dont cette liste est constituée et constamment accrue est une question qui a toujours été laissée aux historiens de l'économie et aux sociologues industriels » (Blaug, 1978-81, p. 550).

16. La littérature est très abondante sur ce thème (Machlup, Mansfield, Utterback, etc.). Voir par exemple les synthèses (Freeman, 1972 ; Mowery et Rosenberg 1978).

17. On consultera utilement (Maunoury 1968) en particulier les chap. III et V, pour mesurer la difficulté de description des PI. Néanmoins l'évolution actuelle des méthodes de représentation des connaissances (principalement dans les « systèmes experts » les plus évolués) laisse augurer de grands progrès dans ce sens. L'étude de la dynamique sociale des PI, à partir de telles représentations, est une autre affaire.

Figure 2. — Schéma des enchainements thématiques

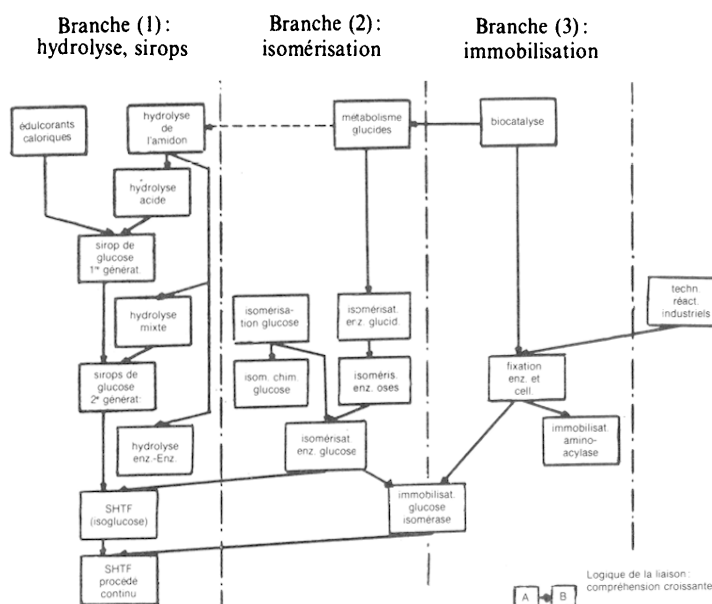
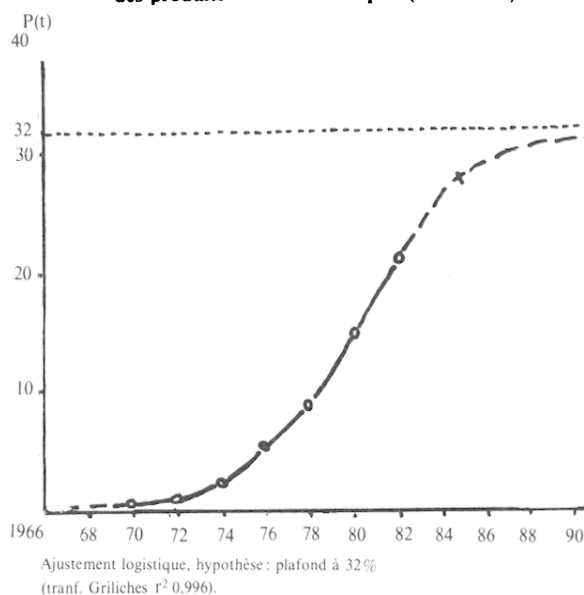


Figure 3. — Evolution de la part (SHTF) du marché des produits sucrants caloriques (Etats-Unis)



trop héroïques pour recueillir l'assentiment général. Le principe de description tout à fait rudimentaire adopté ici consiste à schématiser un processus par une succession d'états caractérisés par un thème ou problème (cf. fig. 2) et une offre d'information sur ce thème. Les transitions entre états correspondent à l'obtention d'une solution, à une reformulation du problème ou à la modification de la fonction d'offre. L'observation conjointe des enchainements thématiques dans leur rythme et leur orientation, et des opérateurs sociaux responsables des « événements » que constituent les transitions, renseigne sommairement sur la dynamique dominante dans chaque phase et chaque branche du processus : scientifique/technique (avec ou sans pilotage), socio-économique (pilotage sous la pression ou par l'anticipation de la demande).

L'information économique des processus innovateurs

Le courant déterministe trouve probablement son expression la plus précise chez un « néoschumpeterien », J. Schmookler. Cet auteur place l'invention, et non plus seulement l'innovation comme le veut la tradition, sous la dépendance quasi-exclusive de facteurs économiques. La science n'est pas limitante, non qu'il soit possible de créer à la demande de l'information scientifique, mais parce qu'il existe sur chaque thème, à l'intérieur du front des connaissances, une réserve d'information qu'il suffit d'exploiter (offre très élastique) (18). En aval, technique et marché sont couplés. Des conceptions moins modérées ont été défendues : dans la dernière décennie l'idée d'une solidarité étroite science-technique-marché a été en faveur chez les gestionnaires de la recherche, en particulier aux Etats-Unis. Elle a inspiré une attitude normative vis-à-vis de la recherche, soit par une planification extensive, soit par un ajustement de proche en proche, en dominos, des programmes aux besoins, jusqu'au niveau fondamental. Ces expériences de « pilotage par l'aval », très critiquées, ont souvent déçu les attentes.

Selon la thèse adverse, c'est l'offre scientifique ou l'« opportunité technologique » qui fait éclore l'invention. La pression de l'offre révèle une demande potentielle, ou dans une autre interprétation, fait émerger un besoin nouveau. Le système science-technique-économie est intégré, mais le primum movens a changé. L'orientation économique précoce des PI n'est pas ici mieux logée que dans les théories traditionnelles.

Qu'enseigne à cet égard le cas du SHTF ? Le processus tel qu'on peut le schématiser par l'évolution thématique se compose

de trois branches : 1 (glucoserie) et 3 (immobilisation) sont coextensives à deux communautés d'opérateurs (cf. fig. 2). La branche 2 (isomérisation) est scindée en deux enchainements distincts correspondant à des groupes scientifiques séparés. Dans l'un d'eux, l'industrie du glucose, des recherches finalisées sont attestées pendant au moins vingt ans sur le thème de l'isomérisation (par voie chimique), et se poursuivent même après 1957. La demande des glucosiers ou de leurs clients échoue dans la dynamisation du processus. L'horizon des connaissances ne va s'éloigner qu'au milieu des années 50, mais sur la voie alternative de l'isomérisation enzymatique, dédaignée par les laboratoires industriels - pourtant particulièrement bien placés pour maîtriser certains types d'enzymes, mais probablement rebutés par le coût de recherche et de fabrication des isomérases. Malgré ces efforts, le principe de solution provient d'une recherche biomédicale fort éloignée de préoccupations sucrières, et dont la précision des finalités économiques n'excède pas un niveau habituel en recherche fondamentale. Jusqu'à cette période, la persistance dans la branche d'un blocage de nature scientifique est indéniable. L'opportunité « isomérisation enzymatique » n'est pas immédiatement reconnue, situation assez normale lorsqu'il s'agit d'un véritable transfert de connaissances entre communautés sans « sociabilité » préalable. A nouveau latence, puis redistribution des rôles après la découverte de Marshall - performance remarquable de recherche finalisée - négligée dès qu'une traduction immédiate en innovation en paraît impossible. La recherche japonaise, moins focalisée mais plus méthodique, fait fructifier l'héritage : la demande reste l'élément moteur et la frontière technique joue son rôle normal de facteur limitant, mais dans cette recherche orientée où la circulation de l'information est organiquement assurée entre la recherche et l'industrie, la division du travail permet néanmoins aux laboratoires institutionnels une grande autonomie de programmation et de travail.

Dans la branche 3 (immobilisation d'enzymes), le processus est gouverné à l'origine par une préoccupation essentielle, la compréhension du mode d'action des enzymes in vivo. Des perspectives d'application sont entrevues très tôt, mais on ne peut qualifier de « recherche orientée » les travaux engagés jusqu'en 1960. Le balayage empirique des techniques de fixation et des souches, et les demandes des industries utilisant déjà des enzymes en solution, vont progressivement dégager quelques voies privilégiées, où une recherche cette fois tout à fait finalisée se met en place, avec les résultats inégaux que l'on sait ; la portion de processus pilotée efficacement vers des objectifs est au total

18. « Nous supposons qu'habituellement le nombre d'améliorations possibles sur les produits existant dans un domaine est trop grand pour limiter effectivement le nombre d'inventions qui peuvent y être faites » (Schmookler, 1966, p. 114). L'auteur, connu pour

être un partisan résolu de l'« endogénéisation » du progrès technique, accueille l'invention en éconduisant la science.

relativement courte. Par ailleurs, la proportion de procédés industriellement appliqués par rapport aux procédés brevetés est très faible, ce qui fait dire à des spécialistes de la branche (Kilara, Shahani) que les enzymes immobilisées sont « une solution à la recherche d'un problème », ce qui laisse entendre que les débouchés font défaut. Or il ne fait aucun doute que ceux-ci existent et se manifestent parfois de façon explicite : même si elle n'anime pas encore l'ensemble des projets de recherche, la pression de la demande s'exerce. Mais encore une fois le front technologique ne recule qu'avec mauvaise grâce : les « inventions » qui ne percent pas le doivent pour la plupart à une insuffisance technique ou économique. Dans ce domaine, l'avenir nous apprendra sans doute que, sans modification sensible de la demande, les techniques profitables auront été rapidement adoptées.

Le processus d'innovation de l'isoglucose montre donc une grande solidarité entre science et technique, comme pour beaucoup de biotechnologies. Les connaissances fondamentales jouent pleinement comme facteur limitant dans les deux branches de l'enzymologie considérées ici. L'offre d'information est chroniquement inélastique sur l'isomérisation et, à un moindre degré, sur l'immobilisation. La maigre avance des connaissances scientifiques sur leur exploitation provient d'un retard structurel facilement identifiable : l'hypothèse d'une « réserve » scientifique et technique, bien illustrée par certaines phases secondaires (amélioration des sirops de glucose), est infirmée pour les branches isomérisation et immobilisation.

Cette solidarité science/technique ne résulte-t-elle que d'une intégration par un « pilotage aval » ? La réponse est ici négative : le savoir initial s'est identifié sur des fondements problématiques étrangers aux applications étudiées. En phase finale on rencontre aussi bien des programmes pilotés avec succès (Marshall, programme japonais) que de durables déconvenues (isomérisation chimique). L'hypothèse de l'« **opportunité technologique** » n'est recevable que sous une forme amendée : rien ici ne ressemble à la cristallisation d'une demande nouvelle autour d'une découverte ou d'une invention. Au contraire les débouchés sont connus et couverts par des procédés (hydrolyse acide, enzymes solubles...) dont la substitution est parfois étudiée depuis longtemps.

On est ainsi ramené au schéma de « **transfert technologique** ». Un transfert typique met fin à une dissociation structurelle - entre deux familles d'opérateurs - de l'offre et de la demande d'information : un champ de transfert est créé lorsqu'un élément thématique est reconnu commun aux deux ensembles d'opérateurs, rendant l'échange possible. L'ensemble demandeur acquiert l'information tandis qu'un nouveau « marché » s'offre à l'ensemble émetteur. Nous trouvons ici un exemple de transfert typique (celui de la glucose-isomérase), avec la mise en place d'un réseau de communications entre microsociétés qui jusque là s'ignoraient. L'immobilisation d'enzymes nous montre un autre type de transfert, quasi routinier : le champ de communications, établi depuis longtemps, s'apprête à supporter des relations marchandes ordinaires de fournisseur à client. Recherche finalisée chroniquement déficiente dans la branche réceptrice, programmes indépendants dans la branche émettrice : le transfert type manifeste les limites et la complémentarité des logiques « de la science » et « du marché ». La recherche finalisée en milieu fermé, si elle échoue dans l'orientation de la recherche, crée les conditions favorables à l'emprunt ultérieur ; comme le résume le préhistorien Leroi-Gourhan dans son étude du déterminisme technique, « l'emprunt ou l'invention répondent à un problème posé par le milieu intérieur », ou selon une formule plus ancienne, « on emprunte souvent ce qu'on se disposait à inventer » (Leroi-Gourhan, 1945-1973, p. 399, 373).

Concentration industrielle et innovation

Dans la mesure où les secteurs industriels directement intéressés par l'isoglucose sont oligopolistiques (maïs, amidonnerie-glucoserie, enzymes), on ne peut manquer de s'interroger sur les rapports entre cette concentration industrielle, la puissance éco-

nomique des firmes, et leur activité innovatrice. Innovation et structure de marché sont apparues très tôt comme indissociables : le premier aiguillon de l'innovation est l'avantage sélectif, sous forme de monopole temporaire, qu'en retirent ses détenteurs. Mais sur la nature précise de la liaison concentration-innovation, les interprétations divergent. L'enjeu juridique (dispositions antitrusts) et politique (par exemple, multinationales et pouvoir technologique) de cette question, autant que son intérêt théorique, a inspiré des travaux très nombreux. Une inépuisable source de débats est l'hypothèse centrale formulée par Schumpeter dans le cadre de sa théorie de la « création destructrice » (Schumpeter, 1950, chap. 7 et 8), mais que d'autres courants peuvent reprendre à leur compte. On sait que cet auteur voit dans l'innovation, au sens large, le moteur de l'évolution cyclique du capitalisme, et dans la grande firme en situation de concurrence imparfaite sa source principale, à la fois parce qu'elle dispose des moyens suffisants et que l'étendue et la sécurité des débouchés, grâce à la structure du marché, limitent le risque de l'investissement. En rupture avec les théories de la concurrence et du monopole, à plus forte raison dans leurs infléchissements normatifs, comme avec les principes législatifs hostiles au monopole, admis dans plusieurs pays depuis le Sherman Act de 1890, ces idées ont connu un grand retentissement.

Le caractère assez général de leur formulation a laissé libre cours à une floraison d'interprétations « néoschumpeteriennes ». La plus courante veut que le progrès technique croisse continuellement avec le degré de concentration, ce qui se prête à une validation empirique moyennant les indicateurs appropriés ; d'autres auteurs n'y voient qu'un raisonnement en termes de seuil (Markham, 1965, p. 325). De la même manière, une grande latitude d'interprétation subsiste quant à l'extrapolation de cette liaison aux phases amont du processus innovateur (inventions, progrès scientifiques). Mettant à part les considérations de processus, les études statistiques du rapport structure industrielle/innovation se fondent sur des indicateurs tantôt d'invention, tantôt d'innovation (19). Kamien et Schwarz (1975), dans une synthèse méritoire, ont regroupé les hypothèses les mieux corroborées : sur le critère le plus élémentaire, la taille des entreprises, il semble que l'on puisse conclure à un maximum d'intensité innovatrice pour les firmes moyennes (20). L'évidence empirique conduit donc à réfuter, dans cette interprétation, l'hypothèse de Schumpeter. Si l'on attribue à ce résultat, en réalité très inégal selon les secteurs, une valeur générale et que l'on constate que dans une industrie les grandes unités sont la source principale de l'innovation, il faut conclure à un effet purement mécanique du taux de concentration et reconnaître la situation comme sous-optimale : si le secteur était moins concentré, il innoverait davantage. Quant au sens de la relation de causalité entre innovation et profit elle suscite des thèses contradictoires : le rôle majeur que des théoriciens du « trend » accordent à l'anticipation des profits se retrouve chez des économistes industriels plus préoccupés de gestion de la recherche. Minasian (1962, p. 140) par exemple voit dans l'innovation la source de profits futurs, alors que Schmookler (1966, chap. 6, 7) privilégie le rapport inverse : l'étendue du marché préexistant et les profits acquis sont les premières incitations à innover. Un domaine voisin où l'on peut attendre un enrichissement mutuel de la théorie et de l'observation est celui de la relation entre l'intensité de la « rivalité » (à structure oligopolistique identique), ou entre l'avantage sélectif prévisible des premiers innovateurs par rapport à leurs concurrents et imitateurs, et la productivité innovatrice. Les études empiriques montrent une corrélation positive entre l'envergure des innovations et le degré de rivalité.

Le cas des sirops de fructose, à première vue, symbolise la capacité innovatrice de l'oligopole du glucose, qui reproduit pour partie celui des « géants du grain » (CPC, Cargill, ADM). Le secteur glucosier n'évoque en rien un oligopole pacifique. A la fin des années soixante se sont livrées des guerres de prix consécutives aux entrées de Cargill et Grain Processing Corp., avec la

19. Schmookler et Scherer, entre autres, produisent des résultats en faveur d'une équivalence des deux types d'indicateurs.

20. I étant un indicateur d'innovation ou d'invention (par exemple nombre de brevets), D un indicateur de dépenses de recherche, T un indicateur de taille, l'« intensité innova-

trice » s'exprime par $I/T = I/D \times D/T$. Les études empiriques concluent à l'absence d'économies d'échelle (I/D décroît faiblement avec D) à une « intensité de recherche » D/T maximale pour les firmes moyennes. Il importe de noter que les entreprises n'effectuant pas de recherche, c'est-à-dire une forte proportion des petites, ne sont pas comptabilisées dans la plupart des enquêtes.

course aux économies d'échelle qui a suivi. Dans la branche dextrose, Corn Products a préservé une position dominante acquise par l'exploitation du brevet Newkirk (pourtant rapidement contourné par Clinton). Cette industrie dispose par conséquent d'un répertoire stratégique très étendu, allant de l'innovation radicale, voie royale d'une domination durable, à la concurrence sur les prix la plus caractérisée, en passant par la « concurrence monopolistique » (différenciation subtile des sirops de glucose autour de 1960). La maîtrise technologique occupe sa juste place dans cette panoplie : c'est donc dans une industrie très sensible aux mérites de l'innovation, et bien dotée en moyens de recherche, que va se dérouler le PI de l'isoglucose.

Mais le succès final ne doit pas occulter un processus innovateur singulièrement erratique. On a vu que l'inefficacité du système était patente dans le retard apporté à la reconnaissance des méthodes d'isomérisation enzymatique et surtout dans la sous-évaluation de l'apport de Marshall. La concentration de l'industrie a vraisemblablement favorisé cette unanimité dans l'erreur. Si la phase suivante se déroule hors des Etats-Unis, et de la recherche industrielle privée, l'oligopole glucosier va montrer une exceptionnelle faculté de rétablissement : il s'adapte aux conditions nouvelles créées par les travaux de Tsumura et Takasaki aussi rapidement que l'industrie japonaise elle-même, et doit être crédité ensuite - à l'égal d'un autre secteur concentré et internationalisé quoique composé de firmes de taille modeste, l'industrie des enzymes - d'une intense activité innovatrice. En résumé, le cas du SHTF atteste l'efficacité, au stade industriel, de l'innovation, et surtout l'aptitude à la récupération, au sens propre et figuré, d'un oligopole en situation de rivalité interne (21). En revanche son efficacité aux stades antérieurs du PI reste problématique. De notre point de vue, le cas « isoglucose » tendrait plutôt à infirmer l'hypothèse néo-schumpéterienne d'un effet favorable de la concentration sur la capacité à maîtriser l'invention, alors qu'il montre, pour l'innovation proprement dite, l'avantage sélectif d'un contrôle simultané de la technologie et du marché. Mais cette interprétation appelle des nuances : l'idée centrale, quoique mal exploitée, provient de Corn Products, et la recherche institutionnelle japonaise, elle aussi, s'est engagée très loin dans les phases innovatrices.

Le rôle respectif des profits passés et anticipés (Schmookler, 1966 ; Minasian, 1962) a été examiné en grand détail pour l'isoglucose par B. Peckham par comparaison de séries chronologiques de brevets et d'indicateurs sectoriels. Cet auteur conclut que l'anticipation des profits est à l'origine de l'innovation (Mueller et al., 1982, p. 97) et se fonde en particulier, pour rejeter l'hypothèse de Schmookler, sur la simultanéité des travaux de Clinton en 1966, 1967, et de la dépression sur le marché du glucose, puis sur le constat d'une activité inventive soutenue pendant la période de jeunesse difficile de l'isoglucose (jusqu'en 1972). L'argument paraît d'ailleurs mieux étayé par les témoignages recueillis dans les milieux professionnels que par l'analyse des séries de brevets, dont la plupart sont postérieurs à 1972 : l'anticipation des profits et de nouvelles positions stratégiques semblent effectivement avoir joué un rôle majeur dans les firmes innovatrices. L'objectif a été atteint : la hiérarchie des fabricants de SHTF ne reproduit pas celle des

glucosiers. Les initiateurs (Clinton, Staley) restent au premier plan sans toutefois s'être assuré une position dominante comparable à celle de CPC sur le dextrose. Peut-être en raison de la diversité des combinaisons de productions possibles, les barrières technologiques d'entrée dans la branche se sont révélées assez aisément surmontables. L'effet en retour de l'innovation sur l'oligopole n'a pas été dans le sens d'une monopolisation accrue, ni en taux de concentration ni en intensité concurrentielle. Mais si les cartes ont été redistribuées, il serait excessif de croire que le cercle des joueurs se soit beaucoup élargi (22). Le nouveau venu n'est autre que le premier groupe sucrier américain. S'il n'est pas exclu que le niveau de concentration s'élève ultérieurement avec la saturation progressive du marché potentiel, jusqu'à présent on doit s'en tenir pour le cas des SHTF à l'hypothèse neutre : pas d'action significative de l'innovation sur la concentration contrairement à ce que suggèrent Phillips, ou sans exclure la neutralité, Scherer (Phillips, 1966, p. 302 ; Scherer, 1980, p. 435).

CONCLUSION

L'ensemble des observations montre, s'il était besoin, quels passages tortueux et quels relais improvisés jalonnent la genèse de l'innovation. Ici, l'alternance des périodes américaines et japonaises, institutionnelles et industrielles, de recherche fondamentale et appliquée, de séquences planifiées et d'ajustements pragmatiques, dément toute préconception d'ensemble, toute harmonieuse division du travail. Le cas de l'isoglucose n'a évidemment aucune représentativité mais il comporte quelques exemples de phénomènes comme les transferts technologiques dont on connaît par ailleurs la valeur générale. Ces transferts technologiques qui se signalent d'autant mieux à l'attention que les fonctions complémentaires (offre, demande) sont respectivement portées plus longtemps par des structures, par exemple des branches industrielles, qui restent disjointes pendant une longue période, présentent par conséquent le banal inconvénient méthodologique d'être d'autant plus apparents et plus étudiés qu'ils sont lents et malaisés. Le transfert technologique atypique, instantané et efficace, dès lors qu'il ne représente qu'un épisode d'une activité routinière de recherche ou de documentation sans mettre en jeu des opérateurs aux logiques et comportements dissemblables, disparaît du champ des macrophénomènes sociaux. Il n'est pas certain que la proportion des transferts « masqués » tende à augmenter : l'accroissement de taille et de complexité de la communauté scientifique promet de belles années aux processus sous-optimaux, parfois spectaculaires, dont l'isoglucose fournit l'illustration. Ils manifestent les limites organisationnelles des systèmes de recherche, et par conséquent la portée restreinte des signaux économiques qui en empruntent les canaux (détermination par la demande). A contrario ils montrent le rôle que continue à tenir l'environnement peu organisé des systèmes de R et D, à commencer par la « culture technique » des chercheurs. Les transferts ne sont pas la seule forme de processus à étayer cette idée : on rencontre fréquemment des processus plus linéaires où l'imprégnation culturelle des agents, autant économique que technique, est plus décisive que les pressions directes de la demande et du marketing.

BIBLIOGRAPHIE

BLAUG M. (1978, 1981). — *La Pensée Economique*, Economica, Paris.

BOUQUERY J.M., GUERIN B. (1971, 1975, 1979). — *Problèmes de substitution Glucose-Saccharose*. CIPS, CEDUS, CGB, SNFS.

BROOK E. M. (1977). — *High Fructose Corn Syrup : its Signification as a Sugar Substitute and its Impact on the Sugar Outlook*. World Bank CP 25.

CARMAN H.F., THOR P.K. (1979). — *High Fructose Corn Sweeteners : Economic Aspects of a Sugar Substitute*. Bull. 1894, Giannini Foundation, Univ. of Calif., USA. Davis.

CASEY J.P. (1976). — *High Fructose Corn Syrup : A Case History of Innovation*. Research Management, sept. 1976, p. 27-32.

CASEY J.P. (1978). — *The Future of Corn Wet Milling*. Food Technology ; janvier 1978.

DOUSSAU G. (1979). — *Genèse des innovations dans les IAA : préétude dans le secteur des industries fermentaires*. INRA-ENSAIA.

FREEMAN C.H.R. (1972). — *The Economics of Industrial Innovation* ; Harmondsworth ; Penguin.

GRILICHES Z. (1957). — *Hybrid Corn : an Exploration in the Economics of Technological Change*. Econometrica, 25 (4), pp. 501-522.

21. Signalons d'ailleurs que les innovateurs Clinton Corn et A.E. Staley sont alors, au sein de l'oligopole glucosier, en position de challengers.

22. Principaux fabricants de glucose (G) et d'isoglucose (I) aux USA en 1978 (ordre alphabétique) : ADM (IG), American Maize (IG), Amstar (I), Cargill (+ Miles) (IG), Clinton (IG), Hubinger (IG), AE Staley (IG). Source : Food Product Development, avril 1978, p. 42.

INGLETT G.E. (1981). — Sweeteners : a review. Food Tech., mars 1981.

KAMIEN M.I., SCHWARTZ N.L. (1975). — Market Structure and Innovation : a survey. J. Econ. Lit., 13 mars 1975, pp. 1-37.

LEROI-GOURHAN A. (1945, 1973). — Milieu et techniques. Albin Michel, Paris.

LICHT F.O. (1978). — Special survey, the outlook for isoglucose in the US, Western Europe and Japan, International Sugar Report ; contributions de AHLFELD, SCHMIDT, SINGLETON, etc.

MARKHAM J.W. (1965). — Market Structure, Business Conduct and Innovation. Am. Econ. Rev., mai 1965, pp. 323-332.

MAUNOURY J.L. (1968). — La genèse des innovations. PUF, Paris.

MINASIAN J.R. (1962). — Profitability of R & D. in The Rate and Direction of Inventive Activity, Princeton 1962, pp. 93-141.

MUELLER W.F., CULBERSON J., PECKHAM B. (1982). — Market Structure and Technological Performance in the Food Manufacturing Industries. Studies of the Organisation and Control of the US Food System. NC Project 117, 11 (North Central Reg. Res. Pub. 280).

PAVITT K., WALD S. (1971). — Les conditions du succès de l'innovation technologique. OCDE.

PHILLIPS A. (1966). — Patents, Potential Competition and Technical Progress. Am. Econ. Rev., n° 56, mai 1966.

SCHERER F.M. (1970, 1980). — Industrial Market Structure and Economic Performance. Rand Mc Nally College, Chicago, USA.

SCHMIDT E. — F.O. Licht : n° 15, 1977 ; n° 2, 1979, pp. 23-29.

SCHMIDT E. (avec GROSSKOPF W.) (1978). — Survey F.O. Licht Special, pp. 38-58.

SCHMOOKLER J. (1966). — Invention and Economic Growth. Harvard.

SCHUMPETER (1942, 1950). — Capitalism, Socialism and Democracy. Harper & Row Pub.

SUZUKI S. (1978). — The Present Status and Prospects of High Fructose Corn Syrup in Japan. In F.O. Licht ; 61-67.

ZITT M. (1983). — Genèse des innovations en technologie alimentaire 1945-1980 : le cas de l'isoglucose. INRA Nantes.

ANNEXES

ANNEXE 1

Rappel Technique

Le sucre et les édulcorants caloriques appartiennent à la famille des glucides (oses, holosides). Les oses (pentoses, hexoses...) sont de petites molécules (CH₂O)_n dont les assemblages forment les holosides. Ces assemblages peuvent être détruits par hydrolyse. Un polyholoside comme l'amidon peut ainsi être hydrolysé en polymères de niveau moins élevé, jusqu'au constituant de base, le glucose (ou dextrose), un hexose. Le degré d'hydrolyse est mesuré par la dextrose-équivalent (« D.E. ») ou proportion de dextrose et d'autres sucres réducteurs dans le mélange de molécules obtenu à l'équilibre. Les diholosides, hydrolysables en deux molécules d'hexoses,

sont également très répandus dans la nature : le saccharose (glucose + fructose), sucre de canne ou de betterave ; le lactose (glucose + galactose) ; le maltose (2 x glucose), etc. Le pouvoir sucrant de ces molécules est très variable : à 100 pour le saccharose correspondent environ 130 pour le fructose et 70 pour le glucose. C'est l'un des points faibles du sucre d'amidon (maïs ou pomme de terre) face au saccharose. La possibilité de changer de configuration moléculaire, d'isomériser économiquement le glucose en fructose, change les données du problème. Le sirop de fructose obtenu par isomérisation, où glucose et fructose sont en équilibre, est pratiquement équivalent au sucre inverti, un édulcorant standard d'origine sucrière.

ANNEXE 2

Consommation par tête de produits sucrants caloriques aux Etats-Unis (1962-1982)

	Sucre raffiné		SHTF		Glucose		Dextrose		Total édulc. de maïs génér.		Total
	en liv.	en %	en liv. (*)	en %	en liv. (*)	en %	en liv. (*)	en %	en liv. (*)	en %	
1962	97,9	86,8			9,3	8,2	3,6	3,2	12,9	11,4	112,8
1964	96,8	85,3			10,9	9,6	4,1	3,6	15,0	13,2	113,5
1966	97,3	85,1			11,2	9,8	4,2	3,7	15,4	13,5	114,4
1968	99,2	84,3			12,6	10,7	4,3	3,7	16,9	14,4	117,7
1970	101,8	83,0	0,7	0,6	14,0	11,4	4,6	3,8	19,3	15,7	122,6
1972	102,8	81,8	1,3	1,0	15,6	12,4	4,4	3,5	21,3	17,0	125,6
1974	96,6	78,5	3,0	2,4	17,4	14,1	4,9	4,0	25,3	20,6	123,1
1976	94,7	75,2	7,1	5,6	17,7	14,0	5,1	4,0	29,9	23,7	126,0
1978 (**)	93,2	72,6	11,0	8,6	18,1	14,1	4,7	3,7	33,8	26,3	128,4
1980	83,7	66,8	19,2	15,3	17,6	14,0	3,5	2,8	40,3	32,2	125,3
1982	75,3	60,3	26,7	21,4	18,0	14,5	3,5	2,8	48,2	38,6	124,9
1985 (p)	69,1	55,1	14,9	27,8	18,0	14,3	3,5	2,8	56,4	44,9	125,5

Sources : Sugar and Sweeteners Report, déc. 1978 et mars 1983
sauf : projections dans l'hypothèse d'un plafond à 32 % (mod. logistique)
* équivalent sec
** résultat provisoire déc. 1978

ANNEXE 3

Coût de production du SHTF en monnaie courante exprimé en cents par livre (unité de 32 000 boisseaux/jour) hors frais de transport du maïs (1)

Sources (1)	Sugar Sweeteners Report Mars 1983	Giannini Foundation (Carman, Thor, 1979)	World Bank Commodity (Brook 1977)
	1981 - 1982	1977	1976
Amidon net	3,40 - 5,30	1,2 - 4,4	2,5 - 5,40
Capital	4,10	3,2	4,4
Autres frais	6,00 - 8,00	5,2	5,2
TOTAL	13,5 - 17,4	9,6 - 12,8	12,1 - 15,0

1. Pour l'estimation des coûts en Europe : voir les séries F.O. Licht (notamment les contributions de Grosskopf, Schmidt, 1977, 1978) et l'analyse technico-économique de Bouquery, Guerin, 1975.

ANNEXE 4

Ecart des prix du sucre et des SHTF sur le marché de Chicago Ouest

	SHTF 42	SHTF 55
(a) 1972-74 (moy.)	(a) 13 %	n.d
(b) 1975-77 (moy.)	(b) 29 %	n.d
(c) 1978	(c) 35 %	n.d
(c) 1980	(c) 38,3 %	n.d
(c) 1981	(c) 24,0 %	16,6
(c) 1982	(c) 48,2 %	31,9

En % du prix du sucre
Sources :

(a) World bank commodity (Brook, 1977).
(b) Giannini foundation (Carman, Thor 1979)
(c) Sugar and sweeteners report 1983