



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50<sup>th</sup> anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

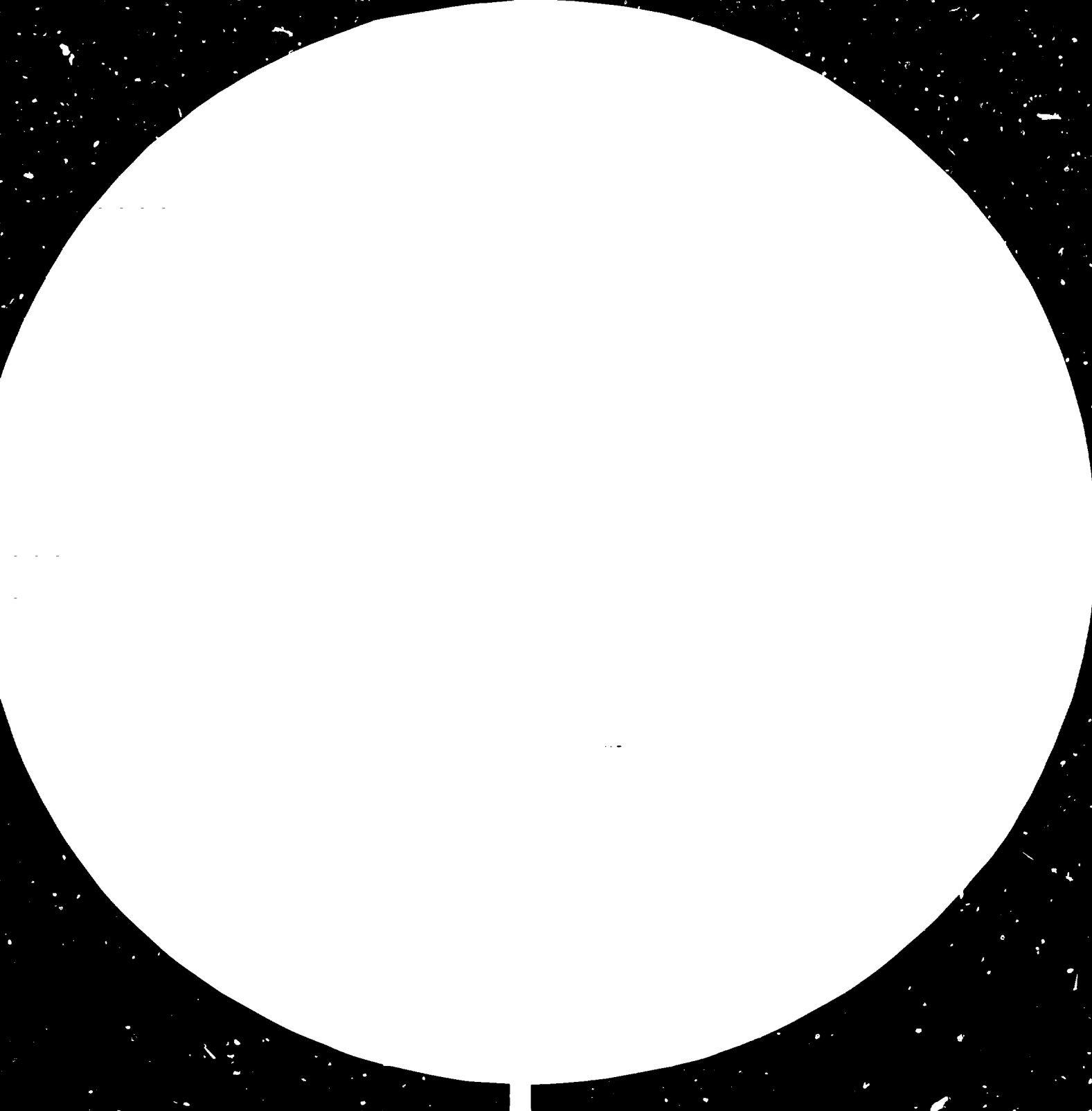
## FAIR USE POLICY

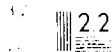
Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

## CONTACT

Please contact [publications@unido.org](mailto:publications@unido.org) for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at [www.unido.org](http://www.unido.org)





Resolution Test Chart

1.0 1.1 1.25 1.4 1.6 1.8 2.0 2.2 2.5

10176-F

Distr. LIMITEE  
UNIDO/IO.403  
19 décembre 1980

ORGANISATION DES NATIONS UNIES  
POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

FRANCOIS  
Original : ANGLAIS

"LA SPIRULINE"

DP/MEX/72/002  
VC/MEX/76/090  
DP/MEX/77/009  
UF/MEX/78/048

GUIDE POUR L'EXPLOITATION A L'ECHELLE INDUSTRIELLE  
DE L'ALGUE SPIRULINA GEITLERI J. DE TONI OU SPIRULINA MAXIMA<sup>1/</sup>

Etude effectuée par L. Skowronski d'après les travaux de la Sosa  
Texcoco S.A. de Mexico, le Conseil de recherche et de productivité  
de Fredericton (Canada) et de plusieurs experts internationaux.

0015.5

1/ Les opinions exprimées dans le présent document sont celles de l'auteur  
et ne reflètent pas nécessairement celles du Secrétariat de l'ONUDI.  
Traduction d'un document n'ayant pas fait l'objet d'une mise au point  
rédactionnelle.

80-47015

TABLE DES MATIERES

	<u>Pages</u>
REMERCIEMENT	1
RESUME	2
Résumé en Annexe A	5
Résumé en Annexe B	6
HISTOIRE ET EVOLUTION DE LA SPIRULINE	7
Le Tecuitlatl des Aztèques; le Caracol de Sosa Texcoco; l'action de l'ONUDI; l'action de l'Institut français du pétrole; production et ventes; importance des algues bleues-vertes et du produit fini.	
LE PAYS	8
Données fondamentales; cultures alimentaires; les sources végétales de protéines; l'économie; les encouragements à l'industrie; les secteurs industriels prioritaires; les finances; utilisation des terres; principales cultures.	
MECANISME FINANCIER DE L'EXPLOITATION DE LA SPIRULINE	12
Objectifs et activités de la Somex; ressources financières; organigramme de l'installation de Sosa Texcoco.	
LES RECHERCHES SUR LES DERIVES COMMERCIALISABLES	15
Ferredoxine; lipides; substances antimicrobiennes; propriétés médicinales; traitement : du diabète, de l'anémie, des hépatites A et B, de la pancréatite chronique, de la myopie, de l'alopecie, de la cirrhose du foie, de la gastrite, du glaucome, de la ptose gastrique.	
RECHERCHES TOXICOLOGIQUES	22
Expériences; tests, résultats.	
RECHERCHES TOXICOLOGIQUES EFFECTUEES SOUS LES AUSPICES DE L'ONUDI	24
Programme des expériences; toxicité subchronique et chronique; reproduction et lactation; tératogénèse; mutagénèse.	
RECHERCHES SUR LA DECOLORATION ET LA RECUPERATION DES PIGMENTS EFFECTUEES SOUS LES AUSPICES DE L'ONUDI	36
Traitement à la lumière et à l'eau oxygénée; extraction par l'éthanol, le méthanol, la percolation; schéma de l'extraction.	

Table des matières (suite)

	<u>Pages</u>
COMMERCIALISATION	
Emplois pour l'homme et pour les animaux; répartition du marché; ventes par qualités; évolution des prix unitaires; prévisions générales; gamme des produits; potentiel du marché.	42
DESCRIPTION DES ALGUES TRAITÉES	49
Taxonomie; morphologie; reproduction; aspect au microscope.	
CULTURE	53
Description du bassin; taux de croissance effectif et théorique; effets de la température et de l'éclairement sur la croissance des algues.	
EXPERIENCES SUR L'EUTROPHISATION EFFECTUEE SOUS LES AUSPICES DE L'ONUUDI	66
Carbonatation; homogénéisation; recherches sur l'eutrophisation et situation actuelle	
STADES DE LA FABRICATION	73
Préconcentration; filtrage; filtrage-extraction; désintégration; pasteurisation; séchage par pulvérisation, conditionnement.	
CONTROLES DE LA QUALITE COURANTS ET PERIODIQUES.	75
Propriétés des produits finaux : physiques, chimiques, teneur en azote (protéine); acides aminés; ARN; ADN; lipides; stérols; caroténoïdes; vitamines; analyse microbiologique; valeur nutritive; aspect au microscope.	
CONSIDERATIONS A L'ECHELLE MONDIALE ET RECOMMANDATIONS GENERALES	87
Perspectives de la culture et de la consommation des algues; explosion universelle de la population et consommation des protéines; élimination des déchets; répartition géographique des lacs à spiruline; composants chimiques de certains lacs à spiruline; possibilités mondiales de commercialisation; problèmes technologiques; circulation de l'information; le rôle actuel et futur de l'ONUUDI; comment franchir les barrières commerciales.	
BIBLIOGRAPHIE	94
PERSONNES VISITEES AU COURS DE LA MISSION	101

REMERCIEMENT

L'auteur du présent document tient à exprimer sa reconnaissance à ses contreparties, MM. Torrero, Huesca, Santillán et Kamio, de l'établissement Sosa Texcoco, à M. Chamorro de l'université de Mexico, à M. G. Brown et au personnel scientifique du Conseil de recherche et de productivité de Fredericton et à M. Goldenberg de l'Institut français du pétrole de Paris.

L'auteur désire également remercier le Service des agro-industries du Secrétariat de l'ONUDI pour son précieux concours.

## RESUME

1. Le produit naturel que l'on a réussi à traiter dans une installation semi-industrielle exploitée au moyen de méthodes modernes et produisant en moyenne 1000 kg par jour est la Spirulina Geitleri J. de Toni, synonyme de la Spirulina maxima qu'ont connue les Aztèques, et qui sert à l'alimentation en Extrême-Orient et en Afrique.

Les vérifications effectuées périodiquement par l'Institut central néerlandais de la nutrition et les laboratoires japonais de recherches sur l'alimentation révèlent que la spiruline est un produit naturel de caractère exceptionnel, car sa composition reste sensiblement la même à toutes les saisons de l'année.

2. Ce produit se prête à plusieurs usages intéressants; employé comme aliment de complément, il favorise l'élevage des mollusques, des crustacés et des poissons dont il stimule la croissance, la maturité sexuelle, l'ovulation, et la reproduction précoce. Il a également rendu de grands services pour l'alimentation des abeilles, ainsi que des oiseaux et du bétail. Les pigments jaunes et orangés qu'il contient constituent un colorant naturel facilement assimilable par la chair du poulet, le jaune d'oeuf, les oiseaux d'ornement et les poissons d'aquarium. On peut également s'en servir pour aviver la coloration du beurre.

La spiruline fait maintenant partie de l'alimentation humaine. Des récentes recherches japonaises ont même montré qu'elle exerce un effet bénéfique sur des individus atteints de certaines maladies. La grande diversité des produits alimentaires auxquels on peut associer la spiruline a permis de mettre en oeuvre un programme de recherches actuellement en cours à la société Sosa Texcoco, au Mexique, qui ne cesse d'étudier des recettes et des utilisations nouvelles.

3. L'ONUDI a contribué à la création de la première installation pilote équipée d'un matériel technique simple opérant selon un procédé de fabrication applicable dans d'autres pays en développement. L'ONUDI a également patronné les recherches portant sur le perfectionnement des techniques d'eutrophisation peu coûteuses au moyen d'une homogénéisation et d'une carbonatation contrôlées (Annexe A).

4. L'analyse chimique de l'algue sèche en poudre donne les résultats suivants : forte teneur en protéine de bonne qualité; acide linoléique; teneur modérée en hydrates de carbone; faible teneur en acides nucléiques; quantités notables de plusieurs minéraux nutritifs et forte teneur en vitamines A, B, B<sub>12</sub> et E. L'analyse des acides aminés montre que la plupart des acides essentiels répondent



aux prescriptions de la FAO et dans certains cas sont présents dans une proportion supérieure à celle qu'on trouve dans d'autres sources de protéines (Annexe B).

5. Une étude effectuée sous les auspices de l'ONUDI par le Conseil de recherche et de productivité (RPC) de Fredericton, New Brunswick (Canada) a permis de mettre au point un procédé pilote de décoloration des algues séchées qui donne comme sous-produit une protéine en poudre de couleur crème. L'équipe de la RPC dirigée par M. G.D. Brown a fait l'essai des méthodes déjà connues de décoloration des algues et autres végétaux et en a conclu que ces méthodes ne pouvaient pas donner une décoloration complète en raison de la présence d'un groupe complexe de biliprotéines non solubles dans les solvants. Cette équipe a mis au point un procédé efficace de solubilisation de ces pigments. Ce procédé comporte une extraction rapide au moyen d'un solvant unique. La protéine décolorée obtenue conserve les qualités protéiniques de la substance primitive et les pigments concentrés contiennent toujours les précieuses xanthophylles que l'on peut transformer en aliments de complément pour les animaux dont la pigmentation augmente la valeur.

6. L'ONUDI a financé des études toxicologiques qui ont été effectuées par le Dr. G. Chamorro. Elles ont comporté l'examen des divers aspects des détériorations possibles, ainsi que des essais à long et à court terme et prolongés sur plusieurs générations de nourrissage à la spiruline d'animaux de laboratoire. Aucun effet nocif n'a été constaté.

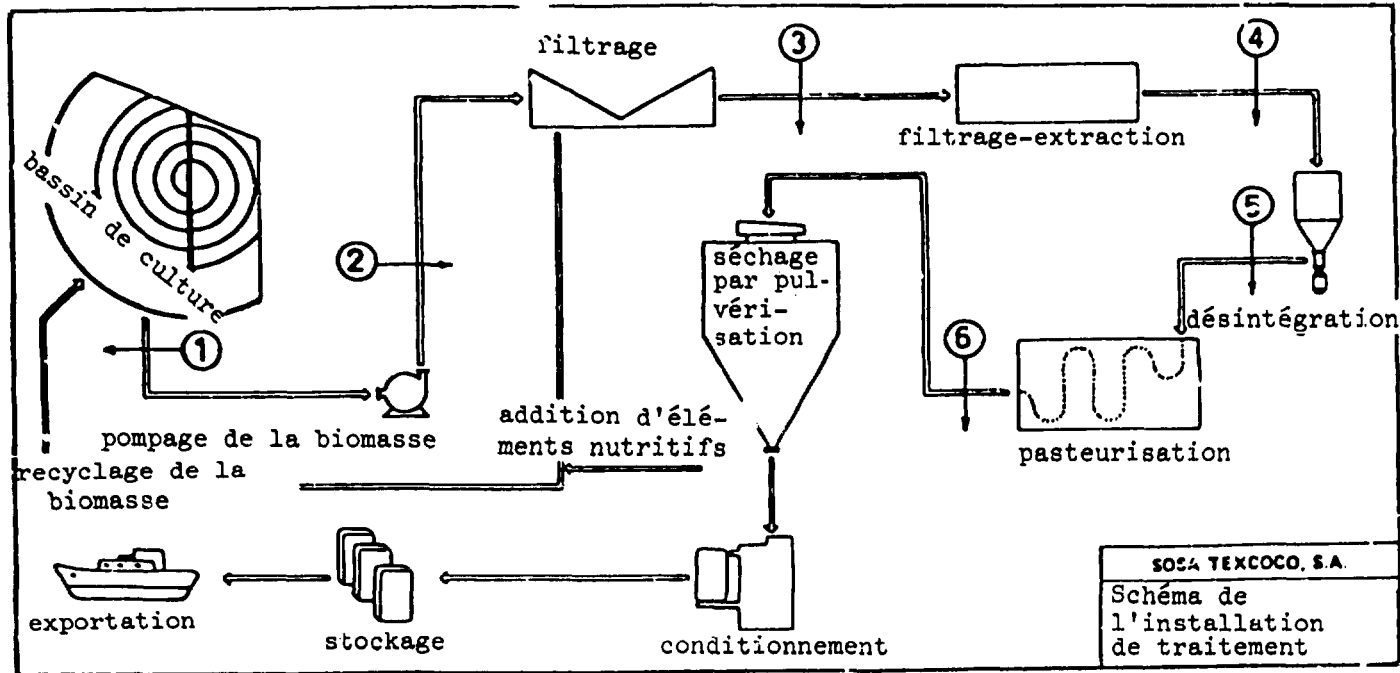
7. La répartition du marché indique qu'en 1980, 63 % des produits vendus ont été destinés à l'alimentation humaine. Le prix unitaire a considérablement augmenté, passant de 1,24 dollars des Etats-Unis en 1974 à 4,00 dollars en 1980, ce qui donne une marge bénéficiaire particulièrement intéressante. Les ventes du premier semestre de 1980 ont dépassé les chiffres les plus élevés atteints en 1979 : les 3 500 tonnes par an prévues d'ici à 1985 sont donc réalisables.

8. Le principal problème que pose le financement de l'exploitation de la spiruline est lié au bilan et au cash flow de la Sosa Texcoco qui a entrepris d'utiliser le sodium des eaux alcalines du lac pour produire de la cendre de soude, de la soude caustique et du sel industriel. Il s'agit de trouver les ressources nécessaires pour les immobilisations ainsi que pour les fonds de roulement, ce qui comporte par conséquent l'exécution des programmes en cours concernant la spiruline portant entre autres sur la construction de nouvelles unités et l'agrandissement de celle qui existe déjà. Au cas où l'exploitation de la spiruline deviendrait une entreprise indépendante, elle aurait l'appui

des banques, ainsi que du Somex et du Gouvernement. Un tel projet pourrait bénéficier d'incitations telles que : abattements d'impôts, exemption de droits de douane sur le matériel importé etc.

9. La culture des algues peut contribuer à remédier à la pénurie de protéines qui menace le monde. L'explosion démographique universelle confère une extrême importance à la combinaison de l'emploi des algues pour le traitement des eaux usées et comme source de protéines. Il y a lieu de créer dans les pays possédant des lacs où poussent des algues des installations de fabrication analogues à celle qui a réussi à Sosa Texcoco. Les pays en développement deviendraient ainsi les seuls producteurs, ce qui faciliterait le franchissement des barrières commerciales qui les séparent des pays développés.

ANNEXE A



ANNEXE B

ANALYSE NUTRITIONNELLE	%	MINÉRAUX	(mg/kg)
Protéine	65,0	Calcium (Ca)	1 180
Hydrates de carbone	14,8	Phosphore (P)	8 280
Graisse	6,5	Fer (Fe)	528
Cendres (minérales)	7,7	Sodium (Na)	344
Fibres	0,5	Chlore (Cl)	4 200
Humidité	5,5	Magnésium (Mg)	1 663
		Manganèse (Mn)	22
		Zinc (Zn)	33
ACIDES AMINES	%	Potassium (K)	14 353
(% de la protéine totale)		Sélénium (Se)	0,4
Isoleucine	5,7		
Leucine	8,7	VITAMINES	(mg/kg)
Lysine	5,1	Carotène beta (A)	1 700
Méthionine	2,8	Biotine (H)	0,4
Phénylalanine	5,0	Cyanocobalamine (B <sub>12</sub> )	2
Thréonine	5,4	Pantothenate d-Ca <sub>12</sub>	11
Tryptopane	1,5	Acide folique	0,5
Valine	7,5	Inositol	350
Analine	7,9	Niacine	118
Arginine	7,6	Pyridoxine (B6)	3
Acide aspartique	9,1	Riboflavine (B1)	40
Cystine	0,9	Thiamine (B2)	55
Acide glutamique	12,6	Tocopherol (E)	190
Glycine	4,8	Chlorophylle-A	6 800
Histidine	1,5		
Proline	4,1	ACIDES GRAS	(mg/kg)
Serine	5,3	Laurique (C12)	204
Tyrosine	4,5	Myristique (C14)	582
ARN	2,9	Palmitique (C16)	18 820
ADN	0,8	Palmitolinoléique (C16)	1 762
Lysine disponible	85	Heptadecanoïque (C17)	116
Digestibilité par la pepsine	84	Stéarique (C18)	177
Rendement des protéines	2,4	Oléique (C18)	2 490
Utilisation nette de protéines (% de la caséine)	89	Linoléique (C18)	12 352
		Gamma linoléique (C18)	10 360
		Alpha linoléique (C18)	294
		Divers	3 850

## HISTOIRE ET EVOLUTION DE LA SPIRULINE

La grande ville de Tenochtitlan, capitale de l'empire des Aztèques, était construite sur une île située au milieu du lac Texcoco, bassin d'eau alcaline qui servait à défendre la ville contre des assaillants et à nourrir ses habitants. Le lac donnait en effet non seulement du poisson et d'autres aliments, mais aussi le Tecuitlatl (mot qui signifie, en langue nahuatl : excrément de pierres), sorte de limon "substance bleuâtre boueuse qui flotte à la surface du lac et que les Aztèques faisaient sécher au soleil et conservaient pour le consommer comme un fromage, dont il a l'odeur et le goût" (W. H. Prescott). D'autres historiens s'expriment dans les mêmes termes au sujet du Tecuitlatl (B. Diaz del Castillo, F. López Gomara, T. de Motolinia, B. de Sahagún). Au cours des siècles, l'emploi de cette substance diminua en même temps que la superficie du lac, que les Espagnols asséchèrent délibérément. La tradition orale en signale toutefois encore la consommation au début de notre siècle. Aujourd'hui, la plus grande partie du lac Texcoco constitue un immense évaporateur (d'un diamètre de 3,5 km) qu'on appelle "el caracol" (l'escargot) pour l'extraction de l'hydrate et du carbonate de sodium; dans les eaux moins chargées, on trouve encore la matière boueuse et bleuâtre, le tecuitlatl, qui est une pellicule constituée d'agrégats de cyanophytes, algue bleue-verte microscopique appelée spiruline (G. Clément, H. Durand-Chastel). Au microscope elle a l'aspect d'un filament spiriforme de 0,5 mm de longueur. On sait que les conditions optimales de croissance de cette algue sont réunies dans une eau riche en sodium, d'un pH de 8,5 à 11,0, sous une température de 30 à 35°C et un éclaircissement d'au moins 25 000 lux par jour (H. Bourges, A. Sotomayor, E. Mendoza, A. Chávez).

Ce sont les algues bleues-vertes qui ont attiré le plus d'attention comme sources potentielles, et même actuelles, de protéines et d'autres éléments nutritifs à l'usage de l'homme et des animaux. Au nombre des études générales récemment publiées à ce sujet, il faut signaler celles de C. Clément (France), de H. Bourges (Mexique) et de J. F. Gordon (Angleterre).

La Société SOSA TEXCOCO a entrepris de récolter les algues qui poussent naturellement sur les eaux qu'elle exploite; elle les traite et met sur le marché le produit obtenu. Les procédés de récolte, de concentration et de déshydratation qu'elle a mis au point lui ont permis d'atteindre une production de quelques centaines de kilos par jour. L'Institut français du pétrole a fourni certaines techniques et des tours de main, et l'ONUUDI des services d'experts et une aide financière.

Le marché de ces algues a connu une expansion rapide et la société n'a pas tardé à se rendre compte que ses installations-pilotes ne produisaient pas assez pour satisfaire la demande existante et explorer de nouveaux débouchés

Elle a donc décidé de perfectionner et d'agrandir les installations de production et en même temps entrepris de vastes recherches afin de déterminer quels sont les additifs naturels les plus propres à intensifier la croissance des algues.

Il faut signaler que cette augmentation du rendement n'entraîne aucune production de déchets industriels et ne compromet pas non plus l'activité principale de la société, à savoir l'exploitation des eaux salées par évaporation solaire.

L'importance de la valeur nutritive du produit de la spiruline a été reconnue par des experts de plusieurs pays (H. Bourges et autres, C. Calet, H. Durand-Chastel, H. Durand-Chastel et G. Clément, Informations UNESCO, F.N. Woodward, C. Clément, C. Giddey et R. Menzi; C. Hills et H. Nakamura).

#### LE PAYS

##### Données fondamentales sur le Mexique

Superficie :	2 022 060 kilomètres carrés, dont 48 % en cultures et 9 % en forêts.
Population :	66 900 000 habitants.
Climat :	Tropical dans le sud; tempéré sur les hauts plateaux.
Climat à Mexico :	Située à 2 309 m d'altitude, le mois le plus chaud est mai (moyennes journalières minimum et maximum : 12-26°C), et le mois le plus froid janvier (6-19°C); le mois le plus sec est février (précipitations moyennes 5 mm) et le plus humide juillet (170 mm).

##### Cultures alimentaires

Les principales cultures alimentaires sont le maïs, le blé, le riz et les haricots. La production n'a cessé d'augmenter mais tout juste assez pour correspondre à l'accroissement de la population, et il faut que les récoltes de toutes ces cultures soient bonnes pour que le Mexique puisse vraiment se nourrir lui-même. De mauvaises récoltes de blé et de maïs ont récemment obligé le pays à importer des quantités considérables de céréales, notamment 1 million de tonnes de maïs en 1978/79.

Principales productions agricoles fournissant des protéines  
(en milliers de tonnes)

	1973/74	1974/75	1975/76	1976/77	1977/78	1978/79
Maïs	7 760	8 459	8 945	10 714	10 909	
Blé	2 669	2 798	3 354	2 456	2 643	
Coton	513	215	213	416	340	
Riz	492	717	463	567	397	
Haricots	895	1 027	740	762	940	

Note : Pour 1978/79 on ne possède que des estimations

Sources : Secretaría de Agricultura y Ganadería, Ministère de la planification et du budget; Banamex.

Généralités

Le montant des exportations a été de 3 030 millions de dollars des Etats-Unis et celui des importations de 6 030 millions. Le PNB par habitant est de 650 dollars des Etats-Unis.

L'économie

La situation économique du Mexique a continué à s'améliorer depuis 1978. Le taux d'inflation a été ramené de 21 % en 1977 à 16,2 % en 1978. La version abrégée du plan national de développement industriel pour 1979-1982 fixe les bases du développement économique pour les quatre années à venir et jusqu'à 1990 inclus (Plan national de développement industriel (PNDI) du Mexique, 1978. Nouveau décret d'application).

Vu l'état de sa balance des paiements, le Mexique a adopté une politique de substitution aux importations. Les exportations de matières premières n'ayant pas augmenté rapidement, la capacité d'importation des produits fabriqués s'est trouvée limitée et le pays a dû continuer à faire appel à des sources étrangères pour se procurer des machines, du matériel et des demi-produits. Les excédents procurés par les exportations d'hydrocarbures peuvent fournir les ressources financières propres à surmonter cette difficulté (The Europa Year Book 1979; A World survey).

### Les encouragements à l'industrie et le Plan national de développement industriel

En vertu d'un décret de 1978, une subvention égale à 30 % du prix de l'énergie fixé par le Gouvernement est accordée aux nouvelles sociétés ou nouvelles installations industrielles, ainsi que sur l'achat des produits pétrochimiques de base, à condition que le producteur prenne certains engagements en matière d'exportation. Les entreprises qui bénéficient du rabais de 30 % doivent s'engager à vendre leur production à des établissements industriels situés au Mexique à un prix inférieur de 10 % au prix FOB, ou à un prix qui tient compte des rabais accordés sur l'énergie.

### Secteurs industriels prioritaires

Les secteurs prioritaires sont divisés en deux catégories. La première comprend les industries fabriquant des produits alimentaires et celles qui leur fournissent des machines et du matériel, ainsi que les industries d'importance stratégique. La seconde réunit toutes les autres activités produisant des biens de consommation essentiels. (Plan national de développement industriel du Mexique, 1979-1982, version abrégée.)

### Quelques produits industriels (en milliers de tonnes)

	<u>1973</u>	<u>1974</u>	<u>1975</u>	<u>1976</u>
Farine de froment	1 566	1 606	1 580	1 714
Aliments préparés pour les animaux	1 901	1 978	2 183	-

### Les finances

Taux de change en juin 1980 : 1 dollar E.U = 22,75 pesos.

De juin 1949 à avril 1954 le taux de change a été de 8,65 pesos pour 1 dollar (1 peso = 0,1156 dollar). En avril 1954, la parité du peso a été fixée à 0,08 dollar (1 dollar = 12,50 pesos), parité qui est restée en vigueur jusqu'en août 1976, malgré deux dévaluations du dollar en décembre 1971 et février 1973. Depuis septembre 1976, le peso est "flottant". Le cours moyen du marché, en pesos par dollar des Etats-Unis, a été de 15,43 en 1976, 22,57 en 1977 (The Europa Year Book 1979. A world survey).



Agriculture

UTILISATION DES TERRES

Estimations non officielles (en milliers d'hectares)

	1971	1976*
Terres arables	25 290	26 000
Cultures permanentes	1 760	1 790
Prairies et pâturages permanents	69 200*	66 700
Forêts et terrains boisés	74 000*	71 100
Divers et eaux intérieures	27 005	31 665
Superficie totale	197 255	197 255

\* Estimations de la FAO

Source : Annuaire FAO de la production 1978

Principales cultures

	Superficie cultivée (milliers d'hectares)				Production (milliers de tonnes)			
	1975	1976	1977	1978	1975	1976	1977	1978
Blé	778	894	758	777	2 798	3 363	2 454	2 871
Riz	257	159	174	149	717	463	545	473
Orge	286	364	248	293	440	549	404	410
Mais	6 694	6 783	7 374	7 680	8 459	8 017	10 024	9 616
Avoine	59	66	64	65	87	48	49	60
Sorgho	1 116	1 232	1 368	1 590	2 843	3 920	4 071	4 536
Pommes de terre	57	56	54	58	693	687	688	837
Patates douces	10	10*	10*	n.a.	134	130*	130*	n.a.
Autres racines et tubercules	5	5*	5*	n.a.	45	45*	45*	n.a.
Haricots secs	1 753	1 316	1 613	1 876	1 027	740	741	1 095
Fèves sèches	46	55	50	n.a.	38	44	40	n.a.
Pois chiches	191	105	48	48	195	76	67	71
Graines de soja	344	172	314	-31	699	302	507	324
Arachides non décortiquées	62	43	43	55	69	56	56	72
Graines de lin	219	185	205	233	111	85	123	143
Graines de tournesol	16	8	12	8	27	13	18	11
Graines de coton	363	185	399	n.a.	532	240	525	n.a.
Joton fibre	} 227	} 235	} 386	} n.a.	345	349	596	547
Noix de coco					197	224	325	296
Copra	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	960	960*	980*	n.a.
Palmistes	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	145	160	150	160
Canne à sucre	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	15	30	30*	30*
Betterave à sucre	479	496	480	n.a.	34 366	31 387	51 407	30 000
Betterave à sucre	4	4*	4*	n.a.	99	100*	100*	100*
Café (vert)	374	376	390*	n.a.	228	242	225	240
Fèves de cacao	72	76	70*	n.a.	34	40	36	35*

\* Estimation de la FAO.

Source: Annuaire FAO de la production, Bulletin mensuel FAO de statistiques.

MECANISME FINANCIER DE L'EXPLOITATION  
DE LA SPIRULINE

Banque : SOMEX, Sociedad Mexicana de Crédito Industrial S.A.

87 % des actions de la SOMEX appartiennent à l'Etat et 13 % à des particuliers.

Objectifs et activités

La SOMEX s'intéresse principalement au financement de techniques telles que celles des industries chimiques de base, qui comprennent les industries alimentaires, et tout particulièrement aux matières premières. Hors du Mexique, elle s'est jusqu'à présent intéressée à la Sydney Ross Chemicals aux Etats-Unis et à Kali Chemie en République fédérale d'Allemagne.

Chiffre d'affaires net en 1979	18 milliards de pesos mexicains
Bénéfice net en 1979	1,1 milliard de pesos mexicains.

La SOMEX possède une participation minoritaire dans les fonds suivants :

1. FOGAIN - Fonds de garantie et de développement pour la petite et moyenne industrie qui, par l'intermédiaire de banques privées et publiques, finance des crédits aux entreprises au capital de 40 à 50 millions de pesos, le montant disponible pour un projet donné étant de 9 millions sur un total de 16 millions remboursables en 4 à 7 ans.
2. FONEP - Fonds national d'études et de projets qui facilite le financement et l'assistance technique pour la réalisation d'études de pré-investissement permettant de déterminer les risques ou les avantages d'un investissement avant de l'effectuer.

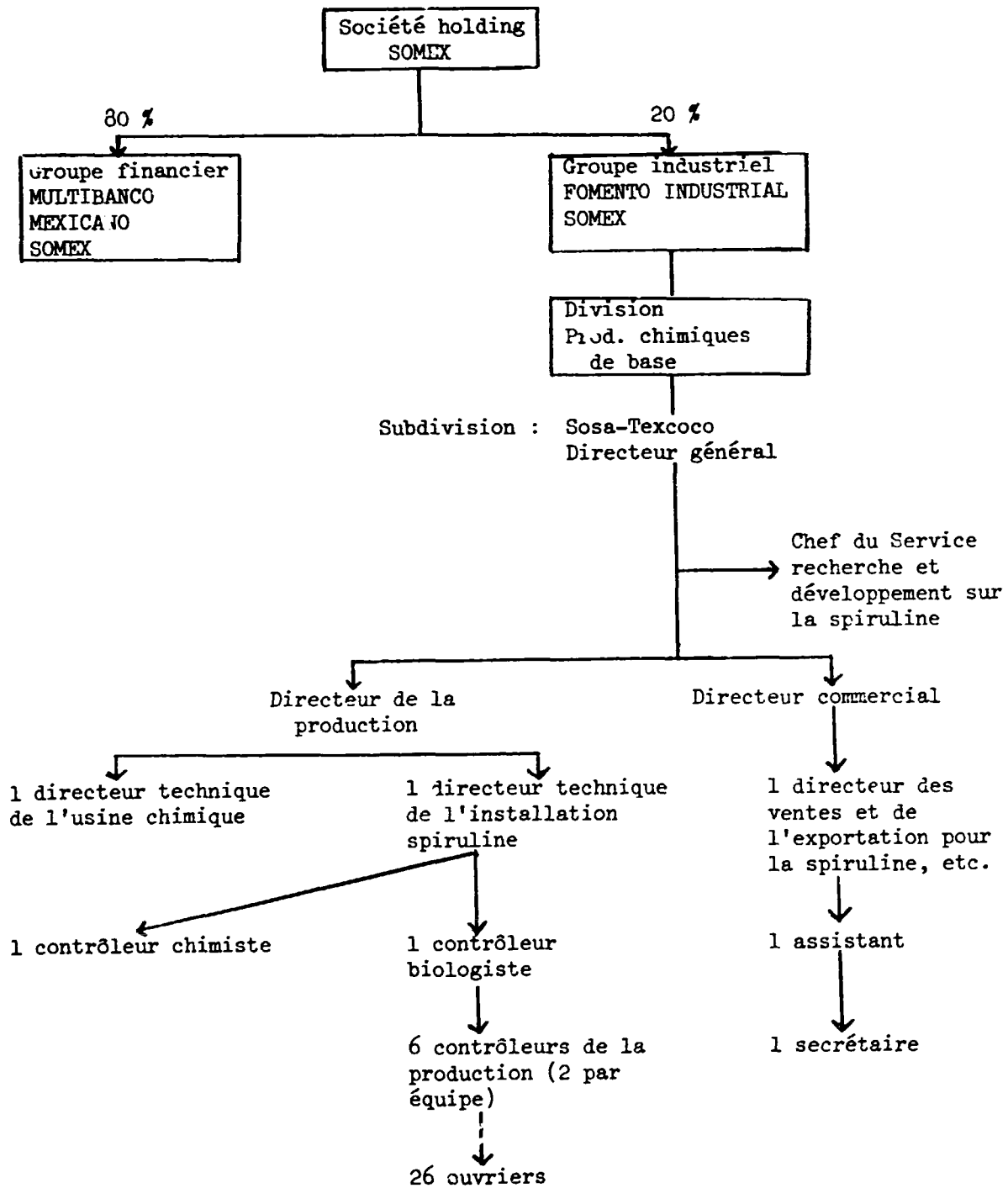
SOMEX détient en outre la majorité des actions des fonds ci-dessous que gère la Banque du Mexique :

1. FOMEX - Fonds pour la promotion des exportations de produits manufacturés, qui stimule et encourage les exportations de ces produits ainsi que la substitution aux importations de capitaux et de biens de consommation.
2. FONEI - Fonds d'équipement industriel, qui encourage la création et/ou la modernisation d'entreprises destinées à exporter une part importante de leur production ou à remplacer efficacement des importations de biens ou services. Le Fonds accorde des crédits allant de 4,5 millions à un maximum de 100 millions de pesos. Ces crédits peuvent atteindre au maximum 72 % des montants investis en

immobilisations lorsqu'ils sont consacrés à la modernisation ou à l'agrandissement, et 65 % de ces investissements lorsqu'il s'agit de la création de nouvelles entreprises. L'intermédiaire financier, qu'il s'agisse d'une banque privée ou publique, accorde 11,1 % du montant fourni par le FONEI lorsqu'il s'agit de modernisation ou d'agrandissement, et 15,4 % de ce montant pour les projets nouveaux.

3. FONATUR - Avec l'aide de ces divers fonds, on peut emprunter à des taux inférieurs de 3 à 6 points au taux d'escompte commercial.

Ressources



## LES RECHERCHES SUR LES DERIVES COMMERCIALISABLES

On a étudié entre autres, à partir de la spiruline provenant du Caracol de Sosa Texcoco, la possibilité d'obtenir des produits commercialisables intéressants, notamment la ferredoxine.

On utilise de plus en plus les ferredoxines pour les expériences biochimiques. Elles appartiennent au groupe des protéines ferreuses autres que le hème sanguin connues sous le nom de protéines fer-soufre, et l'on sait qu'elles véhiculent des électrons qui interviennent dans de nombreuses réactions de transfert dans les systèmes solubles et liés aux membranes (D. O. Hall, M. C. W. Evans). La ferredoxine idéale devrait être stable à l'état pur, agir dans diverses réactions et se prêter à l'extraction à partir d'une source peu coûteuse de cellules faciles à stocker.

On a fait l'analyse chimique et biologique de la ferredoxine provenant de Sosa Texcoco par comparaison avec celles de l'épinard (Spinacea oleracea), de la Luzerne (Medicago sativa), du maïs (Zea Mays), du persil (Petroselinum cristum) et d'une algue verte (Scenedesmus obliquus). On a déterminé les stabilités relatives de ces ferredoxines en stockant jusqu'à sept semaines à  $-196^{\circ}\text{C}$  ( $\text{N}_2$  liquide),  $4^{\circ}\text{C}$  (réfrigérateur) et  $21^{\circ}\text{C}$  (température ambiante). (D.O. Hall, K. K. Rao, et R. Cammack).

La ferredoxine de spirulina purifiée contient 2 atomes de Fe et 2 atomes de soufre minéral par mole, en supposant un poids moléculaire de 12 000 et un coefficient d'extinction molaire de 9 700 à 420 mm ce qui est le cas de la ferredoxine de l'épinard (K. Tagawa et D. I. Arnon).

Aux températures de l'azote liquide, toutes les ferredoxines ont manifesté une légère perte d'activité qui est probablement intervenue au cours de la congélation et du dégel. Dans le réfrigérateur à  $4^{\circ}\text{C}$ , toutes les ferredoxines ont manifesté une perte sensible d'activité d'environ 10 à 30 %. A cette température, c'est la ferredoxine de la spirulina qui a été la plus stable et celle du persil qui l'a été le moins. A la température ambiante, la ferredoxine de spirulina a manifesté une grande stabilité; elle a en effet conservé environ 35 % de son activité primitive après sept semaines à  $21^{\circ}\text{C}$  alors que les autres (à l'exception de celle du maïs qui a conservé environ 15 % d'activité) n'avaient plus que moins de 5 % de leur activité biologique primitive. On peut toutefois conserver des solutions de ferredoxine entièrement anaérobies après stockage à  $4^{\circ}\text{C}$  pendant des périodes plus longues à condition de prendre des précautions spéciales (S. Keresztes-Nagy, E. Margoliash, E. Rao, J. A. Fee et G. Palmer).

La stabilité de la ferredoxine de spirulina purifiée, sa facilité d'extraction à partir de cellules sèches, la facilité de stockage et le bon marché de ces dernières, tout cela paraît recommander l'emploi de cette algue comme excellente source de ferredoxine végétale.

Pour déterminer la teneur en lipides de la spiruline cultivée dans le Caracol de Sosa Texcoco, on a eu recours aux méthodes d'extraction, de chromatographie, de détection et d'identification des composants utilisées par Hudson et Karis. On a employé un procédé modifié reposant sur les méthodes de Lysyj et Zarembo ainsi que de Bertocalini et Barney.

Les tableaux suivants montrent les résultats obtenus par chromatographie sur couche mince, puis par densitométrie pour les composants lipides polaires et non polaires. On a procédé à un classement provisoire des lipides d'après les réactions à des agents pulvérisés spécifiques et à une identification selon les valeurs de  $R_f$  (J. F. Betram, Hudson et Ionnis G. Karis).

Chromatographie sur couche mince de lipides non polaires  
de Spirulina maxima

$R_f$	Identification provisoire	% du total
0,00	Pigments et lipides polaires	9,5
0,19	Monoglycérides	8,2
0,26	Stérols libres	1,5
0,34	Diglycérides	3,6
0,60	Acides gras libres	69,3
0,89	Triglycérides	3,6
0,98	Esters de stérols, cires, etc.	4,3

\* Système solvant : éther de pétrole/éthyle/acide acétique (80 : 20 : 1)

Chromatographie sur couche mince de lipides polaires  
de Spirulina maxima<sup>a/</sup>

R <sub>f</sub>	Identification provisoire	% du total
0,00	Lipides polaires non résolus	7,9
0,04	Lipide A <sup>b/</sup>	9,1
0,08	Lipide B <sup>c/</sup>	11,9
0,16	Phospholipide (Phosphatidyl inositol?)	4,6
0,25	Sulfolipide	5,0
0,35	Diglycéride digalactosyl	23,4
0,40	Glycérol phosphatidyl	25,9
0,86	Diglycéride monogalactosyl	4,6
1,00	Lipides et pigments neutres	7,6

a/ Système solvant : chloroforme/méthanol/acide acétique/eau (85 : 10 : 3 : 5).

b/ Probablement diglycéride tétragalactosyl.

c/ Probablement diglycéride trigalactosyl.

La présence d'acide linoléique et linoléique *gamma* en quantités totalisant plus de 20 % joue un rôle important lorsqu'on envisage l'emploi de la spiruline pour l'alimentation humaine. Ces deux acides réunis constituent une riche source d'acides gras essentiels (H. J. Thomasson). Il peut y avoir intérêt à compléter par de la spiruline des régimes par ailleurs déficients en acides gras essentiels, indépendamment de tout enrichissement au moyen de protéines ou d'autres éléments nutritifs.

Des extraits alcooliques concentrés de *Spirulina maxima* ont révélé sur chromatogrammes sur papier la présence de glucose, de fructose, de galactose et mannose et d'autres hydrates de carbone à faible poids moléculaire. La chromatographie a également permis de constater la présence de glucopeptides et d'identifier des polyalcools tels que le sorbitol. On a signalé (M. Quillet) un cyclitol phosphorylaté (3-4 %) et isolé, à partir d'extraits alcooliques, trois composés cristallins contenant une part de sucre dans leurs molécules (Martinez Nadal).

On a la preuve que cette algue contient un principe actif possédant des propriétés médicinales (Clément et autres). Divers chercheurs ont signalé la présence dans des algues macroscopiques de substances antimicrobiennes (Martinez Nadal et autres). Des algues unicellulaires, la *Chicrella vulgaris* et la *Chlorella pyrenoidosis* produisent une substance inhibitrice de la croissance, la "chlorolline" (Prat et autres).

C'est en étudiant l'activité antimicrobienne de la spiruline que l'on a pu évaluer ses propriétés médicinales. On a fait l'analyse chimique et biologique d'extraits d'algues séchées, et on les a purifiés par absorption chromatographique.

Les chromatographies sur papier ont révélé l'existence de trois activités antimicrobiennes, dont l'une est principalement fongicide et se rattache étroitement à la présence de stérols. Elle paraît contenir une substance antimicrobienne polyène.

L'étude de Noemi G. Martinez Nadal intitulée "Antimicrobial activity of *Spirulina maxima*" expose comment on isole, sépare et purifie des fractions actives par des méthodes chromatographiques et comment elles agissent contre les microorganismes in vitro.

Les extraits concentrés ont subi l'analyse biologique par la méthode de l'aiguille liquide et du disque de diffusion. On a examiné in vitro leur action sur les organismes suivants : Bacillus subtilis, Staphylococcus gumus, Proteus vulgaris, Escherichia coli, Sacharomyces pasterianus, Sacharomyces carevisiae, Candida albicans, Aspergillus niger.

Gottlieb et autres ont signalé que des stéroïdes tels que le cholestérol entravaient l'action fongicide des antibiotiques polyènes. On a constaté la présence de stérols dans la *Spirulina maxima* (Martinez Nadal et autres).

Les antibiotiques polyènes sont toxiques à l'égard des champignons et de la levure et n'ont que peu ou pas d'effet sur les bactéries. Leur toxicité sélective est due à une interaction avec un composant particulier qui n'existe que dans la membrane des organismes sensibles et ce composant est un stérol (Kinky). On a constaté trois activités dans la *Spirulina maxima*. Dans ces recherches, la *Spirulina A* se présente en fractions négatives à l'égard des stérols, et du fait de son activité sélective, à l'égard de la levure et des champignons; ses faisceaux d'absorption d'ultraviolets attestent la présence d'un polyène antimicrobien. L'action des spirulines B et C n'est pas contrariée par la présence de stérols.

Hunter et autres ont constaté que les tétraènes empêchaient la croissance d'algues plus hautes mais étaient sans effet sur les algues bleues-vertes, et ce parce que l'on pensait que ce type d'algues était exempt de stérols (Carter et autres) (Levin et Bloch). Or la présence de stérols dans la *Spirulina maxima* avait été récemment confirmée (Martinez Nadal).



L'emploi de tablettes (S Tab<sup>\*</sup>) de Spirulina comme médicament (étude de 1980) a donné les résultats suivants :

1. Traitement du diabète (Tadaya) dans trois cas par 7 S Tab x 3 par jour.

Résultats en mg/dl<sup>\*\*</sup> de sucre dans le sang après ingestion de 50 g de glucose :

Cas	Age	Sexe	Minutes suivant l'ingestion de glucose	Jours suivant l'ingestion de S Tab			Valeurs maximales attendues
				0	30	60	
I	48	M	0	128	160	96	100
			30	158	162	154	
			60	206	168	160	170
			90	172	130	122	
			120	134	104	94	120
II	55	M	0	176	122	102	100
			30	212	200	168	
			60	238	236	170	170
			90	196	174	136	
			120	136	120	98	120
III	56	M	0	212	172	180	100
			30	266	194	206	
			60	354	226	198	170
			90	360	202	180	
			120	380	178	146	120

\* S Tab = 200 mg provenant de Spirulina platensis, qui appartient à la même famille d'Oscillatoriacées que la Spirulina Geitleri J. de Toni utilisée à SOSA TEXCOCO.

\*\* dl = décilitre = 1/10 de litre, unité couramment utilisée au Japon.

2. Traitement de l'anémie dans 3 de 9 cas traités par 20 x S Tab x 3 par jour (Tadaya).

Quantités de cellules sanguines rouges, d'hémoglobine et d'hématocrites :

Cas	Age	Sexe		Jour suivant l'ingestion de S Tab			
				0	15	30	45
I	18	F	R	3 859	3 900	3 880	3 920
			Hb	106	116	230	131
			Ht	350	380	390	390
IV	22	F	R	3 960	4 010	4 100	4 060
			Hb	112	126	139	140
			Ht	360	380	390	390
IX	47	M	R	4 200	4 360	4 260	4 220
			Hb	130	146	158	156
			Ht	390	430	435	440

R = Nombre de corpuscules rouges x 1 000.

Hb = g/dl d'hémoglobine.

Ht = Pourcentage d'hémocrites.

3. Traitement d'hépatite A et B dans six cas traités par 7 S Tab x 3 par jour (Tadaya).

Résultats : Tous les patients - 2 atteints d'hépatite du type B et 4 du type A ont été guéris au bout de six semaines de traitement.

4. Traitement de deux cas de pancréatite chronique par 7 S Tab x 3 par jour (Minoru). Normalisation de la densité de l'amylase dans le sang au bout de deux semaines et disparition des autres symptômes de la maladie (par exemple les vomissements ont disparu au bout de 5 semaines).

5. Traitement d'un cas de myopie grave par 9 S Tab x 2 par jour.

Résultats : Effet curatif au bout de 30 jours (Hoshito).

6. Traitement d'un cas d'alopecie par 9 S Tab x 2 par jour en complément d'un traitement simultané par d'autres médicaments.

Résultats : Une nouvelle pousse de cheveux a commencé sur la plaque chauve au bout de 14 jours de traitement (Iwao Tanave).

On a également signalé des effets curatifs de S Tab dans :

1. La cirrhose du foie (Noboru);
2. La gastrite et l'ulcère de l'estomac (Tadaya);
3. Le glaucome (Yoshito);
4. La ptôse gastrique (Tomokichi).

## RECHERCHES TOXICOLOGIQUES

### Tolérance des rats aux régimes riches en spiruline

Bien que certains cyanophytes (*Microcystis*, *Anabena*) aient des effets toxiques sur des animaux, on n'a jamais constaté de toxicité de la spiruline après des siècles de consommation par l'homme. On a toutefois jugé nécessaire d'acquérir au moins quelques données d'expérience sur la tolérance des animaux à l'égard des régimes riches en spiruline au cours de brèves périodes d'essai (100 jours). Conformément aux idées de L. Oser, on a nourri pendant 100 jours des rats albinos mâles sevrés de la lignée Wistar exclusivement au moyen des régimes suivants :

Régime témoin - pâtée purina du commerce

Régime 1 - 73 g de spiruline, 7,3 g de sucrose, 14,6 g d'huile de maïs plus vitamines et minéraux, avec une concentration de protéines de 48 %

Régime 2 - 26 g de spiruline, 69 g de pâtée purina plus vitamines et minéraux avec 36 % de protéines.

On a constitué cinq groupes de six rats : un groupe témoin nourri au régime témoin; les groupes 1 et 2 nourris respectivement aux régimes 1 et 2 pour faire l'épreuve des deux taux de concentration de protéines; le groupe 3 nourri au régime 1 pendant 50 jours et ensuite au régime témoin pendant le reste de la période, enfin le groupe 4 nourri au régime témoin pendant 50 jours puis au régime 1 pendant le reste de la période. Les groupes 3 et 4 étaient destinés à constater des différences possibles entre les délais de réaction.

On a observé les effets sur la croissance, la quantité d'aliments absorbés, le rendement de l'emploi des protéines, l'aspect physique et le comportement. A la fin de la période on a sacrifié les animaux et procédé à l'examen histologique du foie, du coeur, des intestins, des poumons, des reins, de la thyroïde et du pancréas : aucun symptôme toxique n'a été constaté.

D'après les publications, des études de toxicologie chronique similaires ont été effectuées en 1976 par Boudène et autres. On n'a pas constaté de signes de toxicité sur des rats nourris pendant 75 semaines au moyen de 25 % de produit de la spiruline. Dans le même ordre d'idées, Jassez et autres ont fait une importante étude en 1971 et constaté que la gamme des acides nucléiques dans le

produit des algues va de 4,2 à 4,5 %. Cette faible valeur (par comparaison avec les levures et les bactéries, où la teneur va de 10 à 20 %), fait ressortir la qualité du produit de la spiruline et lui permet d'égaliser par exemple les dérivés de farines de poisson.

## RECHERCHES TOXICOLOGIQUES EFFECTUEES SOUS LES AUSPICES DE L'ONUDI

Les études d'évaluation toxicologique financées par l'ONUDI ont été effectuées en 1979/1980 à l'Université de Mexico. Elles ont porté sur les impuretés du produit fini de l'installation d'exploitation de la spiruline de Sosa Texcoco. On a également fait des recherches sur des animaux de laboratoire en ce qui concerne la toxicité, la tératogénèse, l'influence sur la reproduction, la lactation et la mutagénèse.

Les études analytiques sur les métaux lourds, les pesticides et autres éléments figurant au tableau ci-dessous indiquent que les teneurs ne dépassent pas les limites prescrites par les organismes internationaux de contrôle en ce qui concerne la consommation humaine. On a procédé à des épreuves de toxicité sub-chronique et chronique sur des rats Wistar sevrés nourris avec 10, 20 et 30 % du produit de la spiruline. Les résultats ont été comparés à ceux d'un lot nourri au soja et à un régime témoin ordinaire. Le tableau de la page 28 récapitule les résultats hématologiques et biochimiques de ces études. On n'a noté aucune différence notable en matière d'éléments constitutifs des cellules ni d'autres paramètres.

### Métaux lourds et autres impuretés contenues dans le produit de la spiruline

Cadmium	0,05 ppm
Plomb	1,9 ppm
Mercure	0,24 ppm
Sélénium	0,40 ppm
Arsenic ( $As_2O_3$ )	2,4 ppm
Cyanogène (CN)	1,4 ppm
Benzopyrène	2,6 ppb

Note : ppb = parties par milliard.

### Résultats négatifs obtenus

BHC  
1,2,3,4,5,6  
Hexachlorocyclohexanol

BHC  
1,2,3,4,5,6  
Hexachlorocyclohexanol

BHC  
1,2,3,4,5,6  
Hexachlorocyclohexanol

BHC  
1,2,3,4,5,6  
Hexachlorocyclohexanol

DDT  
1,1,1 Tricloro -2 -2 bis  
(p-Clorophenyl) Ethanol

op'DDD  
1,1 Tricloro -2 bis  
(p-Clorophenyl) Ethanol

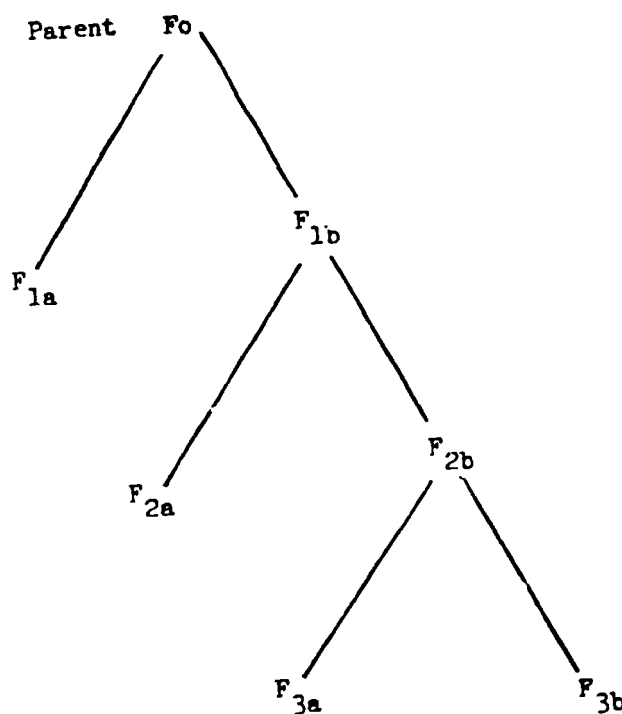
pp'DDD  
1,1 Dicloro 2- (p-Clorophenyl)  
Ethanol

op'DDE  
2-2 bis (o-Clorophenyl)  
2-2 p Dichloroethylenol

D'autre part, on n'a signalé aucune différence sensible pour le pH, le glucose, les protéines, les cétones ni dans l'analyse du sédiment urinaire.

Des expériences sur la reproduction et la lactation ont été faites sur des rats Wistar selon les recommandations de Pitzhugh (1968) au sujet des études de multigénération (Fig. 1). Ces études ont duré deux ans et ont comporté 584 accouplements. On a déterminé pour chaque génération les indices de fécondité, de gestation, de viabilité et de lactation en fonction de l'ingestion de spiruline à diverses concentrations.

Fig. 1. Schéma d'expérience sur la reproduction et la lactation



Tous les Fa sont pesés, observés, sevrés et sacrifiés.

Tous les Fb sont pesés, observés, sevrés, sélectionnés et accouplés.

On n'a constaté aucune altération du poids chez les petits pesés les quatrième et vingt et unième jours après la naissance. Le tableau de la page 27 montre les résultats moyens pour les trois générations. Celui de la page 29 récapitule les résultats pour la génération 2b (selon le schéma). Les tableaux

des pages 28 à 35 donnent les résultats des études de tératogénèse effectuées sur des rats, des souris et des hamsters nourris avec 10, 20 et 30 % de produit de la spiruline pendant la période d'organogénèse.

Pour l'interprétation des résultats, on a tenu compte du pourcentage des mères dont les foetus ont été affectés et du pourcentage de ces foetus. Ces résultats ont été corrigés au moyen de l'indice de tératogénèse de Chamorro, (1974). Les résultats montrent à l'évidence que la spiruline n'a d'effets tératogéniques sur aucune des espèces étudiées. Pour savoir si la consommation de la spiruline n'entraînait pas de risques génétiques, on a procédé à des études de mutagénicité chez le rat et la souris. Chez le rat, on a constaté que la consommation par les mâles de l'algue traitée n'entraîne pas de modification statistique du nombre des résorptions d'embryons au cours de quatre semaines consécutives d'accouplement avec des femelles différentes. On a obtenu les mêmes résultats avec les souris.

Ces résultats permettent de conclure que, d'après les paramètres énumérés ci-dessus, la spiruline traitée à l'usine Sosa Texcoco n'est pas toxique pour les animaux de laboratoire au regard des critères internationaux prescrits pour le contrôle de l'alimentation humaine.



Reproduction et lactation moyennes chez trois générations de rats  
nourris avec de la spiruline (584 accouplements) (G. A. Chamorro)

Régime	Accou- plements	Gravités	Portées nées vivantes	Petits par femelle			Poids moyen des petits aux jours		I.F.	I.G.	I.V.	I.L.
				Mis bas	au 4ème jour	au se- vrage	4	21				
Témoin ordinaire	19,8	18,0	16,7	9,0	8,1	7,3	8,3	40,7	91	93	90	90
Témoin soja	19,8	18,3	17,5	8,7	7,9	6,7	8,3	40,7	92	96	91	85
Spiruline 10 %	19,5	17,5	16,5	8,8	7,8	7,1	8,2	40,1	90	94	89	91
Spiruline 20 %	18,5	16,7	15,0	8,6	7,9	6,8	8,2	40,9	93	95	92	86
Spiruline 30 %	19,3	18,0	16,5	8,9	8,2	7,6	8,2	40,8	93	92	92	93

I.F. = Indice de fertilité  
I.G. = Indice de gestation  
I.V. = Indice de viabilité  
I.L. = Indice de lactation

Rats nourris à la spiruline pendant 13 semaines (G. A. Chamorro)

Hématologie

Régime	Hémoglobine (g/100 ml)	Hématocrite (%)	Erythrocytes ( $10^6/\text{mm}^3$ )	Leucocytes				
				Total ( $10^3/\text{mm}^3$ )	Numération différentielle %			
					Lymph.	Neut.	Eos.	Mono.
MALES								
Témoin ordinaire	14,7	48,6	7,3	13,9	82,3	14,4	3,0	0,3
Témoin soja	14,6	49,9	7,0	13,7	81,9	15,8	2,1	0,2
Spiruline 10%	14,8	49,7	7,9	14,4	81,5	15,1	3,1	0,3
Spiruline 20%	13,9	50,1	7,2	14,1	82,2	15,0	2,6	0,2
Spiruline 30%	14,2	48,7	7,6	13,6	82,5	14,0	3,3	0,2
FEMELLES								
Témoin ordinaire	14,6	50,2	7,0	13,8	84,3	13,1	2,4	0,2
Témoin soja	14,3	49,0	6,7	13,2	86,0	12,3	1,6	0,1
Spiruline 10%	14,0	48,8	7,0	14,0	85,3	12,7	1,8	0,2
Spiruline 20%	14,1	48,7	6,9	13,9	84,8	13,6	1,4	0,2
Spiruline 30%	14,0	49,2	6,7	12,8	83,8	13,9	2,0	0,3

Analyse du sérum

Régime	MALES				FEMELLES			
	GOT (RFU)	GPT (RFU)	AP (BLU)	TSP g/100 ml	GOT (RFU)	GPT (RFU)	AP (BLU)	TSP g/100 ml
Témoin ordinaire	158	32,2	5,3	6,3	147	25,3	5,0	6,6
Témoin soja	162	29,4	6,1	6,2	158	30,2	3,9	6,9
Spiruline 10%	165	31,7	5,4	6,5	143	27,4	5,2	7,2
Spiruline 20%	171	28,2	5,9	6,4	168	31,1	3,6	6,7
Spiruline 30%	159	33,6	5,8	6,0	148	28,6	5,1	7,1

GOT = Transaminase glutamino-oxalacétique

GPT = Transaminase glutamino-pyruvique

AP = Phosphatase alcaline

TSP = Protéines totales

RFU = Unités Reitman-Frankel

BLU = Unités Bessey-Lowry

Reproduction et lactation de la génération F<sub>2b</sub> de rats nourris à la spiruline  
(G. A. Chamorro)

Régime	Accou- plements	Gravidités	Portées nées vivantes	Petits par femelle			Poids moyen des petits aux jours		I.F.	I.G.	I.V.	I.L.
				Mis bas	au 4 <sup>ème</sup> jour	au se- vrage	4	21				
Témoin ordinaire	20	18	16	9,1	7,9	7,1	8,2	41,0	90	89	87	90
Témoin soja	20	18	16	9,0	8,0	6,9	8,4	40,5	90	89	89	86
Spiruline 10 %	19	17	15	8,8	7,7	7,0	7,9	40,2	89	88	88	91
Spiruline 20 %	20	18	16	8,8	7,8	7,0	8,0	41,4	90	89	87	90
Spiruline 30 %	20	17	15	9,2	8,4	7,6	8,3	40,6	85	88	91	90

I.F. = Indice de fertilité  
I.G. = Indice de gestation  
I.V. = Indice de viabilité  
I.L. = Indice de lactation

F<sub>2b</sub> selon schéma de la figure 1.

Effets de l'exposition à la spiruline chez le rat pendant

l'organogénèse (G. A. Chamorro)

Mères

% femelles	Régime				
	Témoin ordinaire	Témoin soja	Spiruline %		
			10	20	30
1. Fécondées	88,9	86,3	95,2	91,7	95,4
1.1. Portées normales	70,8	78,9	75,0	72,7	76,2
1.2. Portées atteintes, total	29,2	21,0	25,0	27,3	23,8
1.2.1. Foetus résorbés	16,7	5,2	10,0	4,5	9,5
1.2.2. Foetus anormaux	4,2	10,5	10,0	9,1	4,8
1.2.3. Foetus résorbés et anormaux	8,3	5,2	5,0	13,6	9,5
2. Sacrifiées gravides	95,8	100,0	95,0	90,9	95,2

Foetus

% foetus	Régime				
	Témoin ordinaire	Témoin soja	Spiruline %		
			10	20	30
1. Normaux	85,6	86,7	85,7	87,1	85,2
2. Atteints, total	14,3	13,3	14,3	12,8	14,8
dont: 2.1. Anormaux	1,2	3,1	3,3	2,3	2,2
2.2. Résorbés	13,1	10,2	10,9	10,5	12,5
Moyennes :					
du poids fœtal (g)	3,21	3,20	3,20	3,32	3,28
des fécondations par mère	10,1	10,2	10,5	9,9	10,6
des foetus par mère	9,2	9,2	9,8	9,7	9,7

Effets de l'ingestion de spiruline chez les souris pendant  
l'organogénèse (G. A. Chamorro)

Mères

% femelles	Régime				
	Témoin ordinaire	Témoin soja	Spiruline %		
			10	20	30
1. Fécondées	90,0	95,0	95,6	87,5	90,9
1.1. Portées normales	55,5	68,4	68,2	71,4	75,0
1.2. Portées atteintes, total	44,4	31,6	31,8	28,6	25,0
1.2.1. Foetus résorbés	22,2	21,0	22,7	14,3	10,0
1.2.2. Foetus anormaux	16,7	5,3	0,0	9,5	5,0
1.2.3. Foetus résorbés et anormaux	5,5	5,3	9,1	4,8	10,0
2. Sacrifiées gravides	88,9	89,5	90,9	95,2	95,0

Foetus

% foetus	Régime				
	Témoin ordinaire	Témoin soja	Spiruline %		
			10	20	30
1. Normaux	73,1	77,2	79,0	82,0	83,0
2. Atteints, total	26,9	22,7	21,0	17,9	17,0
dont: 2.1. Anormaux	2,7	3,2	1,3	2,2	1,9
2.2. Résorbés	24,2	19,6	19,6	15,7	15,0
<b>Moyennes :</b>					
du poids fœtal (g)	1,40	1,33	1,38	1,30	1,36
des fécondations par mère	10,1	9,9	10,4	10,6	10,3
des foetus par mère	8,6	8,9	9,2	9,9	9,7

Effets de l'exposition à la spiruline chez le hamster doré  
(G. A. Chamorro)

Mères

% femelles	Régime				
	Témoin ordinaire	Témoin soja	Spiruline %		
			10	20	30
1. Fécondées	90,0	94,7	86,4	85,0	94,4
1.1. Portées normales	77,8	66,7	73,7	64,7	82,3
1.2. Portées atteintes, total	22,2	33,3	26,3	35,3	17,7
1.2.1. Foetus résorbés	5,5	16,7	10,5	23,5	5,9
1.2.2. Foetus anormaux	5,5	5,5	5,3	0,0	5,9
1.2.3. Foetus résorbés et anormaux	11,1	11,1	10,5	11,8	5,9
2. Sacrifiées gravides	100,0	94,4	89,5	94,1	94,1

Foetus

% foetus	Régime				
	Témoin ordinaire	Témoin soja	Spiruline %		
			10	20	30
1. Normaux	92,3	87,1	84,8	85,3	88,3
2. Atteints	7,7	12,9	15,2	14,6	11,6
dont: 2.1. Anormaux	2,9	2,5	2,0	2,0	1,6
2.2. Résorbés	4,8	10,4	13,2	12,6	10,0
Moyennes :					
du poids fétal (g)	1,57	1,60	1,53	1,64	1,55
des fécondations par mère	11,5	11,2	10,7	11,6	11,1
des foetus par mère	10,9	10,6	10,4	10,8	10,6

Résultats de l'épreuve sur les dominants létaux chez les rats  
nourris avec 30 % de spiruline (G. A. Chamorro)

Paramètres	Traitement		Témoin soje				Spiruline %			
			Semaines				Semaines			
	1	2	3	4	1	2	3	4		
Femelles accouplées	18	18	19	18	20	20	20	18		
Femelles gravides	16	15	17	16	18	17	19	19		
Fécondation/gravidités	11,7	10,6	11,5	10,7	10,4	11,2	10,6	11,1		
Fécondations vivantes/gravidité	10,8	9,6	10,7	9,8	9,6	10,5	10,0	10,2		
Résorptions/gravidités	0,9	1,0	0,8	0,9	0,8	0,7	0,6	0,9		

Effets de l'ingestion de spiruline sur le rat pendant l'organogénèse  
Indice tératogénique corrigé\* (G. A. Chamorro)

% de spiruline	Chez les mères	Chez les foetus
10	5,0	11
20	8,0	- 5,8
30	3,5	1,7
Témoin soja	- 11,6	- 1,2

Effets de l'ingestion de spiruline chez les souris pendant l'organogénèse  
Indice tératogénique corrigé\* (G.A. Chamorro)

% de spiruline	Chez les mères	Chez les foetus
10	- 0,3	- 2,2
20	- 4,4	- 6,2
30	- 9,6	- 7,3
Témoin soja	- 23,0	- 5,7

\* G. Chamorro, 1972, Thèse de doctorat, université de Montpellier.



Effets de l'ingestion de spiruline chez le hamster doré pendant l'organogénèse  
Indice tératogénique corrigé\* (G. A. Chamorro)

% de spiruline	Chez les mères	Chez les foetus
10	- 10,5	2,6
20	- 0,3	1,9
30	- 23,4	- 1,5
Témoin soja	14,3	5,6

\* G. Chamorro, 1972, Thèse de doctorat, université de Montpellier.

RECHERCHES SUR LA DECOLORATION ET LA RECUPERATION  
DES PIGMENTS EFFECTUEES SOUS LES AUSPICES DE L'ONU DI

a) Introduction

G. Brown a mis au point un procédé de décoloration associé à une récupération des pigments en vue de la production d'une protéine de haute qualité pour la consommation humaine. Nous résumons ci-dessous quelques-unes de ses expériences.

b) Décoloration par traitement à la lumière intense. Elle a été effectuée sur une solution aqueuse d'algues à 0,3 %. La solution a été décolorée en 24 heures sous un éclairage de 5 000 bougies-pied. On n'a observé aucun changement de couleur après éclairage d'une solution à 4 % par 100 000 bougies-pied pendant 24 heures. Ces résultats indiquent que la solution à 0,3 % ci-dessus constitue le minimum qu'exige le procédé de décoloration.

Le traitement à la lumière nécessite une longue exposition qui exerce une influence destructrice sur le pigment, par oxydation due à la lumière. D'après D.Strietelmeier et R. B. Koch, cette oxydation affecte les composants cellulaires et abaisse le rendement en protéine de 60 à 6 %.

Ce procédé est peut-être préférable pour éclaircir le produit final décoloré en grande partie par d'autres moyens.

c) Décoloration par blanchiment chimique à l'eau oxygénée

On a agité à 40°C pendant 23 heures une suspension contenant 5 % d'eau oxygénée et 1 % d'algue spirulina. De vert-foncé, la suspension a passé au brun-jaune. La réaction de l'eau oxygénée sur les substrats d'acides gras non saturés pourrait toutefois entraîner la formation de produits polymérisés soupçonnés de présenter des propriétés carcinogènes. De plus, on a constaté que les dérivés hydroperoxydés des acides gras ont un effet nocif sur la synthèse des lipides dans le foie du rat, et aussi que le blanchiment peut nuire à la valeur nutritive du produit. Il en ressort que le produit final de la spiruline blanchie est impropre à la consommation humaine parce qu'il rancit.

d) Décoloration par traitement aux enzymes

Il faut au moins trois enzymes pour obtenir une décoloration totale en enlevant les pigments biliprotéiniques, la chlorophylle et les caroténoïdes. Les algues spirulina contiennent certains enzymes, mais leurs propriétés autolytiques contribuent à réduire le rendement en protéines.

Les traitements aux enzymes sont caractérisés par la lenteur de la réaction et la réduction du rendement (K. Shino et H. Hayami).

De plus, comme il faut opérer en solution aqueuse, on doit encourir les frais d'extraction du solvant et de l'évaporation. On a besoin de trois catégories d'enzymes pour les trois catégories de pigments. Certains de ces enzymes ne se trouvent pas dans le commerce, et ceux qu'on trouve sont toujours contaminés par d'autres activités des enzymes :

- 1) Enzymes hydrolisants des hydrates de carbone protéiniques;
- 2) Enzymes oxydants des acides gras;
- 3) Les deux enzymes ci-dessus risqueraient d'altérer l'état physique et la valeur nutritive de la protéine, entraîneraient des pertes et augmenteraient le coût des opérations de récupération.

e) Décoloration par extraction au moyen de solvants

La matière première provenant de la spiruline peut se présenter sous la forme de poudre sèche ou de pâte déshydratée. On peut régler l'extraction de manière à réduire au minimum la perte de protéine. Comme on peut récupérer le solvant pour le réemployer, il n'y a pas consommation directe de produits chimiques. On peut enlever la chlorophylle et les caroténoïdes au moyen de solvants organiques, notamment d'alcools à bas point d'ébullition. Nous donnons plus loin le schéma d'une extraction par solvants.

Schéma de l'extraction des pigments (Cf. Gordon Brown, PRC, Vol. V)

On apporte directement le produit fini à un malaxeur (1) où il est mélangé à une ration composée en poids de 4 parties de solvant pour 1 partie d'algues séchées avec la liqueur de la cuve de lavage recyclée (6). Une pompe volumétrique de production fait ensuite passer la boue par un dispositif d'extraction > une étape de courte durée sous température élevée (2, 3 et 4). Ce dispositif se compose de deux échangeurs de chaleur à surface rayée pour le chauffage (2) et le refroidissement (4) séparés par une cuve intermédiaire d'agitation des boues. Les rétropressions dans le dispositif d'extraction sont réglées par une pompe à déplacement positif.

Les boues extraites sont envoyées par pompage, à une vitesse réglée, à une centrifugeuse à cloche criblante. Les miscellas sont envoyées par pompage à un dispositif de stockage (13) pour être par la suite concentrées, cependant que les solides séparés sont transportés à une cuve de rebrassage (8) où l'on ajoute du solvant frais (après rectification) à raison de 3 parties (en poids) de solvant pour une de solides, pour y être lavées. Les solides remalaxés peuvent être soit renvoyés pour recyclage à la première centrifugeuse (7) pour séparation (auquel cas la centrifugeuse fonctionne en semi-continu) ou envoyés à une seconde centrifugeuse (9) (deux centrifugeuses permettent d'opérer en continu). La liqueur de lavage de la seconde séparation est complétée soit au moyen d'éthanol frais et d'eau soit de solvant rectifié à l'alcool redistillé avant d'être renvoyée au malaxeur pour y être mélangée aux solides apportés.

On élimine le solvant (10) des protéines solides extraites lavées et on les ramène à 48°C (11) par échange indirect de chaleur avant de les moudre et de les ensacher.

Les miscellas provenant de la première séparation sont apportées à un évaporateur instantané (13) fonctionnant soit sous vide (ce qui exige un investissement plus élevé mais coûte moins de chaleur) soit sous la pression atmosphérique (ce qui exige moins d'investissements mais coûte plus de chaleur) où la chaleur intrinsèque du solvant chaud en élimine 70 % (14). Les miscellas concentrés sont envoyés à l'un des deux alambics (14) pour pousser la concentration à 70 % de solide ou au degré permettant le pompage à la température qui réduise au minimum le risque de détérioration du pigment par la chaleur. (L'alambic au repos recueille les miscellas de l'évaporateur pendant que l'autre concentre.)

On pompe lentement le pigment concentré jusqu'à un mélangeur/séchoir chauffé (15) chargé de terre à diatomées afin d'enlever encore du liquide du concentré de pigment à consistance goudronneuse. La masse humide qui se forme ainsi après mélange est séchée sous vide jusqu'à ce qu'elle atteigne une consistance fluide. Le pigment séché sous-produit est mis en boîtes métalliques sous azote afin d'éviter l'oxydation.

Les vapeurs qui se dégagent de l'éliminateur de solvant (10), de l'évaporateur (13), de l'alambic (14) et du mélangeur/séchoir (15) sont condensées et les condensats vont à un appareil rectification (16) pour élimination de l'eau accumulée. Le solvant rectifié (93,9 % en poids d'alcool) est apporté à un réservoir où on l'additionne d'éthanol frais et d'eau.

Afin d'éviter l'oxydation du produit, on a prévu le rinçage à l'azote des alambics (14) et du mélangeur/séchoir (15) avant d'y introduire les miscellas concentrés et le pigment concentré.

On a choisi l'extraction par solvant parce que la modification apportée au procédé permettait d'enlever le pigment au moyen d'une opération simple à l'aide d'un solvant unique, l'éthanol. Malheureusement la valeur marchande prévue de la protéine en poudre décolorée et les valeurs initiales des xanthophylles extraites ne favoriseraient pas le procédé de décoloration au prix actuel (juillet 1980) de l'algue séchée sur le marché, à savoir 4 dollars E.U. par kilo.

F) Extraction à l'éthanol

On dégèle cent grammes de pâte de spirulina maxima congelée pendant un mois à  $-35^{\circ}\text{C}$  et on les mélange à 500 ml d'éthanol absolu (Rapport solvant : solides = 25,6 en poids) dans un mélangeur à grande vitesse à  $50^{\circ}\text{C}$  pendant 5 minutes et on centrifuge à 5 000 tours/minute pendant 10 minutes.

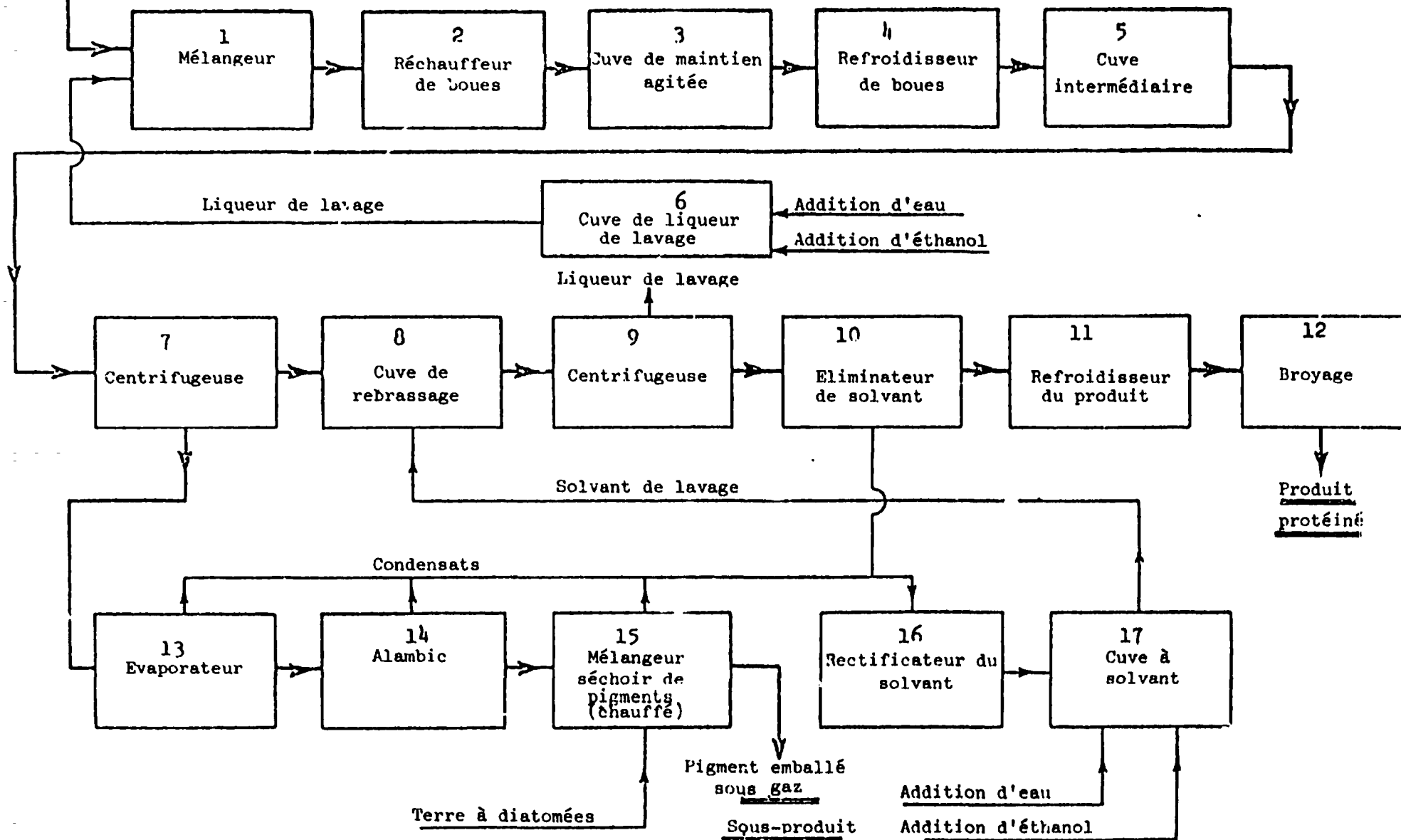
L'opération a été répétée deux fois pour les trois extractions avec les résultats suivants :

Extraction N <sup>o</sup>	1	2	3
Couleur du surnageant	vert foncé	jaune foncé	jaune
Couleur du résidu	vert clair	bleu vert	bleu

Après trois extractions on a récupéré 9,79 g de résidu bleu pour un rendement de solides de 63 %.

Note : Les chiffres 1 à 17 renvoient au schéma.

Algues séchées



SCHEMA DE L'EXTRACTION DU PIGMENT

Le résidu bleu obtenu après trois extractions successives à l'éthanol sous basse température contient de la phycocyanine, qui est le principal pigment bleu des algues bleues-vertes. La phycocyanine est une biliprotéine, protéine contenant un pigment biliaire, lié chimiquement à la chaîne des protéines. Le pigment (ou chromophore) est la phycocyanobiline.

g) Extraction au méthanol

L'efficacité du méthanol comme détachant dans l'extraction du pigment est due à la dimension de la molécule d'alcool qui lui permet de s'introduire jusqu'aux emplacements des groupes prosthétiques du lien entre pigment et protéine.

Le tableau ci-dessous résume les paramètres de l'extraction :

Extraction Soxhlet des algues spirulina maxima  
séchées par pulvérisation

Solvant	Temps d'extraction (heures)	Absorption finale à 436(10:1)	Rendement du produit (%)	Couleur du produit
Méthanol	1,5	1,02	60	bleu
Ethanol	2,5	1,05	72	bleu pâle
Iso-propanol	1,5	0,88	82	vert
Acétone	4,0	0,95	81	vert foncé
Bichlorure d'éthylène	3,0	0,71	74	vert foncé
Hexane	4+	0,36	79	vert foncé

h) Décoloration par percolation-extraction

On a étudié la percolation au moyen d'une opération pilote. Après avoir chargé l'appareil de 3,66 kg d'algues séchées du bassin de Sosa Texcoco, on a fait passer sur les algues de l'alcool condensé à 50°C à raison de 75-100 mls/minute.

Au bout de 15 heures de percolation à 40-50°C et de 50 litres d'éthanol, du pigment sortaient encore des algues. On a arrêté l'extraction et séché les solides. La substance séchée était d'une couleur bleue verdâtre. L'opération a donné 86 % de matière sèche solide.

L'extrait initial possédait une forte teneur en pigments avec 0,29 mg/ml de carotène et 0,28 mg/ml de xanthophylle. On a constaté une précipitation de matières insolubles en décantant l'extrait de son récipient (G. Brown). (Voir la figure page 43).

#### COMMERCIALISATION

A l'heure actuelle (juillet 1980) le produit final de l'installation de traitement de la spirulina maxima à Sosa Texcoco a trouvé un double emploi : pour la consommation animale et pour la consommation humaine.

#### Emploi de la spiruline pour les animaux

Chez les porcelets sevrés, la digestibilité de la protéine de la spiruline augmente rapidement, ce qui indique que cette substance favorise le développement des enzymes digestives chez l'animal (C. Fevrier).

Les volailles tirent profit d'une ration comportant de 5 à 20 % de spiruline. Toutefois, lorsque leur alimentation comporte une forte concentration de sels, on ne peut pas employer plus de 12 % de spiruline. On a constaté qu'avec la spiruline, la pigmentation des chairs et du jaune d'oeuf était la même ou meilleure qu'avec des carotènes synthétiques administrés dans des expériences comparables. On peut obtenir ces effets avec 3 à 4 % de spiruline (E. Avila et M. Cuca, M. Gutton).

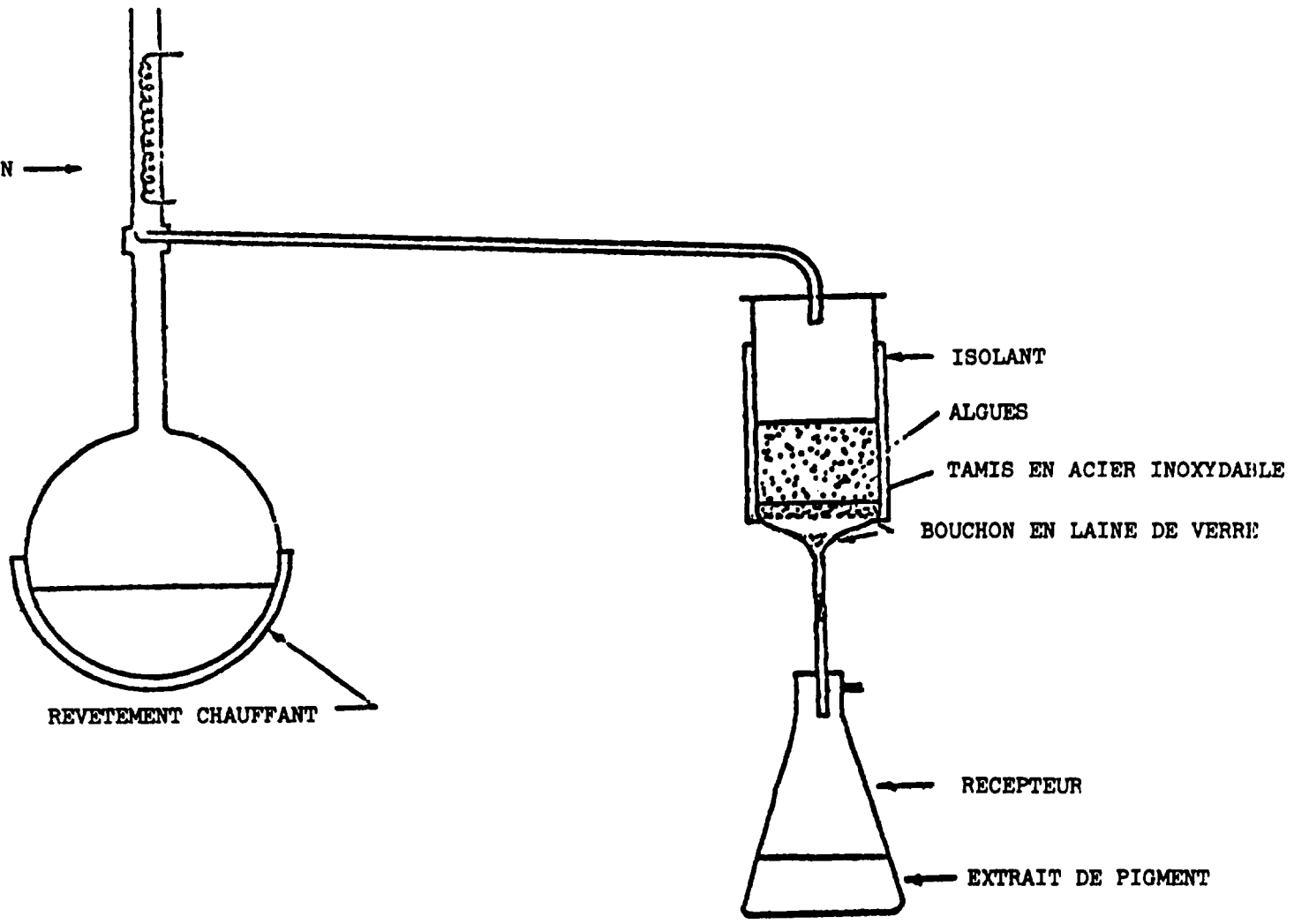
Cinq à dix % de spiruline ajoutées à l'alimentation des poissons pendant 14 à 16 jours améliorent sensiblement la pigmentation rouge de la carpe nishikigai ou du cyprin doré kingyo. L'emploi de la spiruline permet de conserver la coloration rouge pendant longtemps et en entretient l'éclat.

#### Essais d'emploi de la spiruline pour l'alimentation humaine

L'ingestion de protéine de la spiruline administrée à des adultes et à des enfants à l'hôpital Bichat en France a donné de bons résultats. Malgré une légère augmentation de l'azote fécal, l'augmentation de poids a été normale. Dans une autre expérience, on a donné à des adultes et à des enfants sous-alimentés 140, 200 et 190 g par jour de protéines dont 50, 50 et 100 g provenaient de la spiruline. On n'a constaté aucune augmentation sensible des acides dans l'urine, ce qui dénote l'absence de tout effet sur le métabolisme des protéines nucléiques (C. Sautier).



APPAREIL DE DISTILLATION →



EXTRACTION PAR PERCOLATION DES ALGUES SPIRULINES DE SOSA TEXCOCO, SECHEES

Lors d'expériences cliniques effectuées au Mexique sur des enfants souffrant de malnutrition au troisième degré, on a établi des formules de préparations diététiques à base de spiruline qu'on a fait alterner avec des préparations-témoins au lait et au soja, en 30 périodes de 4 jours pour chaque enfant.

On a constaté que l'ingestion de spiruline faisait absorber moins d'azote que le lait de soja entier; mais l'organisme conserve une plus grande part de l'azote provenant de la spiruline que de celui qui provient du soja, autant d'azote qu'il en provient du lait entier, la part conservée n'étant supérieure qu'avec le lait humain.

D'après l'absorption d'azote, on peut conclure que la spiruline vaut mieux que le soja, mais moins que le lait de vache entier et le lait humain (Mc. Galvan).

La figure de la page 45 indique les ventes actuelles (juillet 1980) de spiruline effectuées par le Département des ventes et de l'exportation de la Sosa Texcoco (voir l'organigramme).

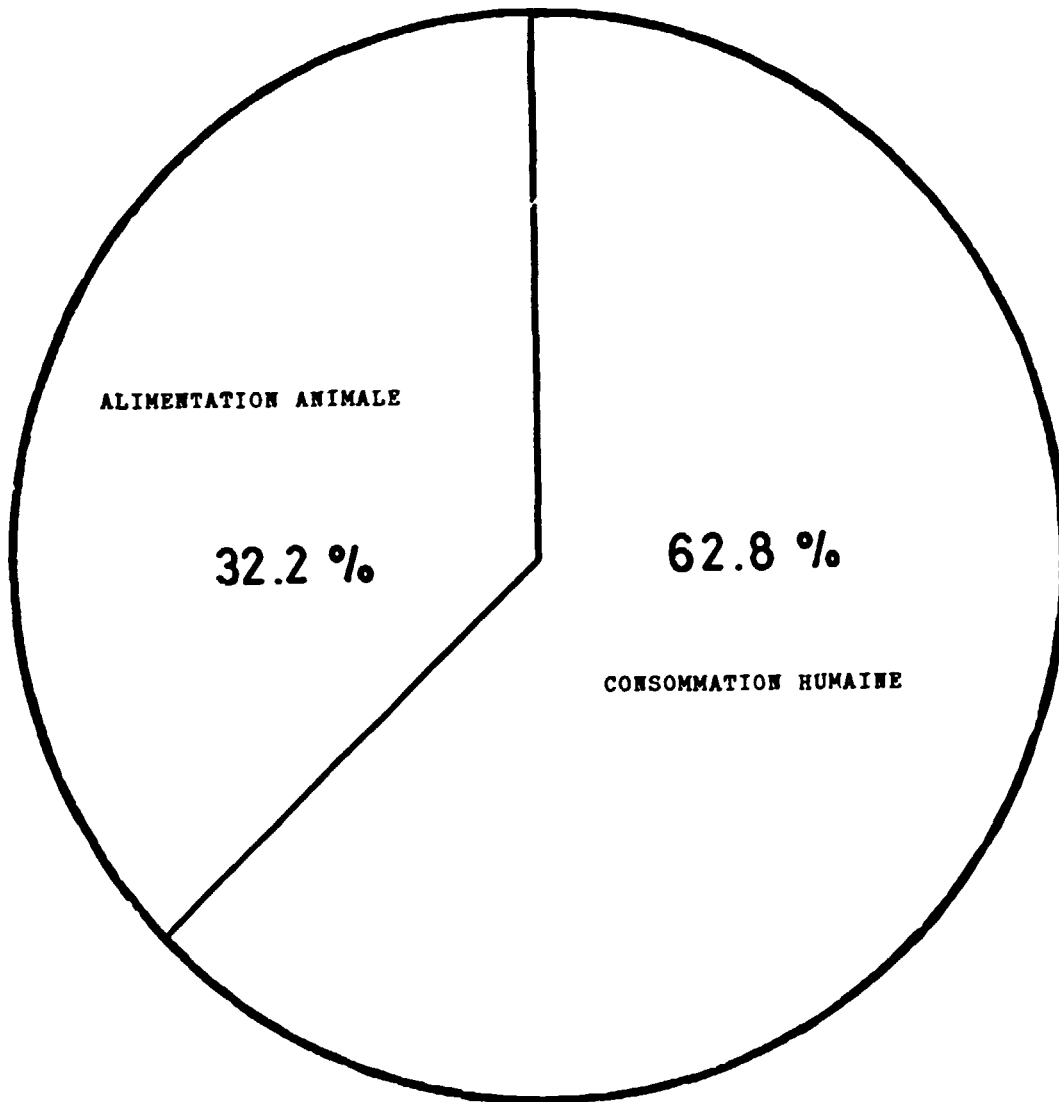
Les figures des pages 46, 47 et 48 donnent les quantités vendues, l'évolution du prix unitaire, et les perspectives des ventes pour les cinq prochaines années.

Les divers produits actuellement (juillet 1980) vendus sont les suivants :

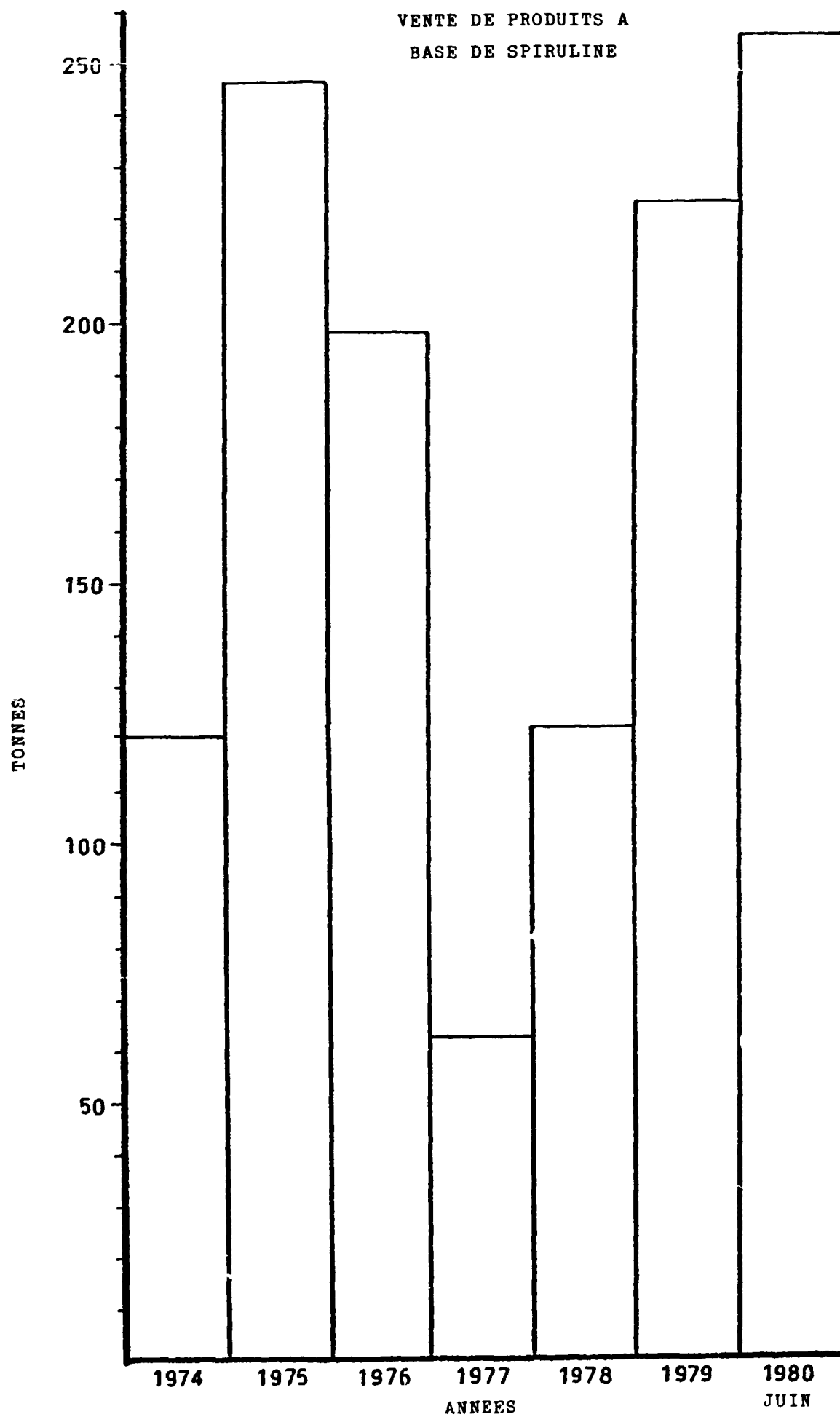
- a) Tablettes constituées par 100 % de spiruline comme élément actif. Elles ont par conséquent une couleur sui generis ressemblant à celle des végétaux marins. Poids moyen : 500 mg; force : 3,0 kg; temps de désintégration dans l'eau à 37°C : 90 minutes;
- b) Biscuits additionnés de 1 % de spiruline;
- c) Barres de confiserie additionnées de 5 % de spiruline.

EMPLOI DES PRODUITS A BASE  
DE SPIRULINE

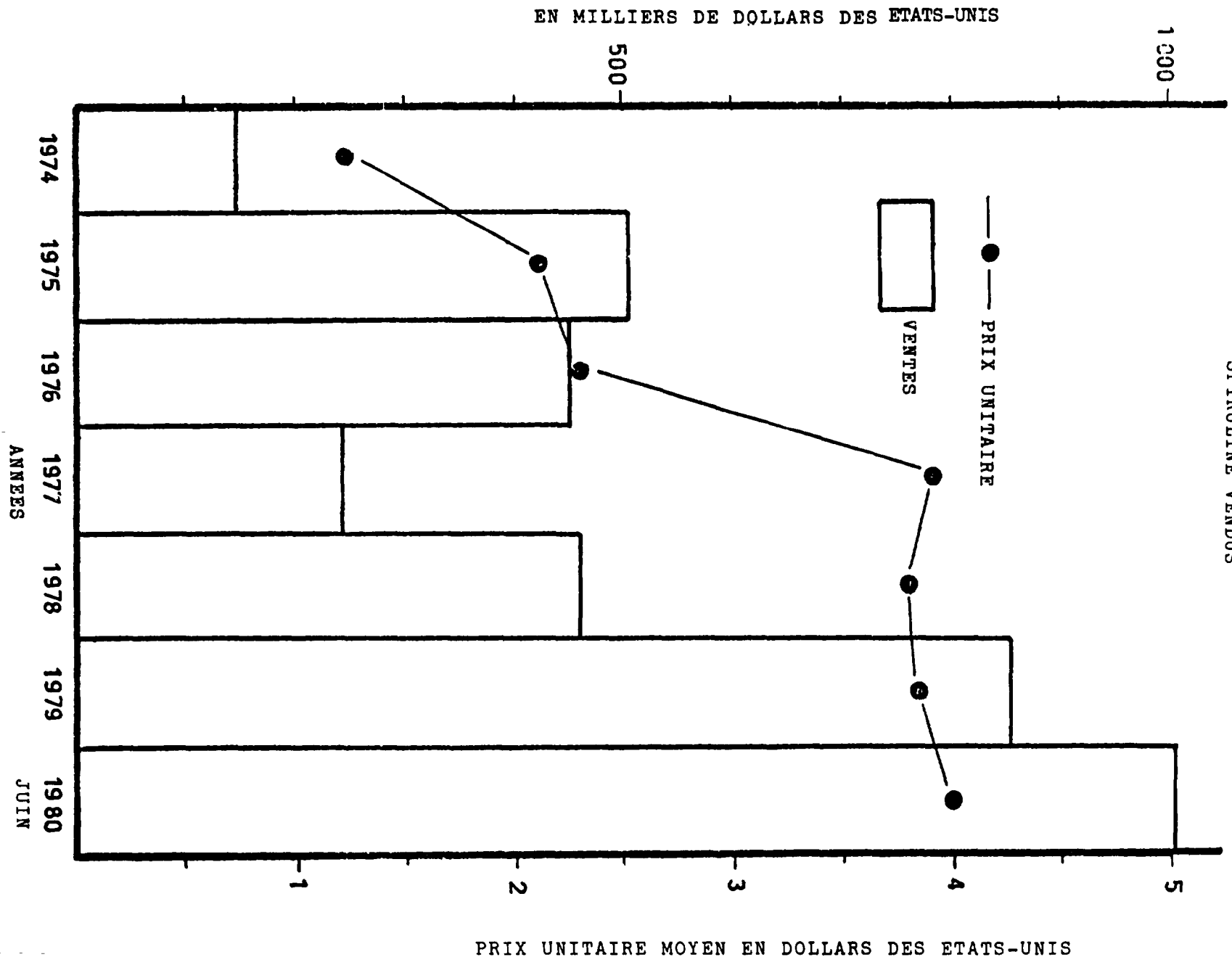
- 1980 -



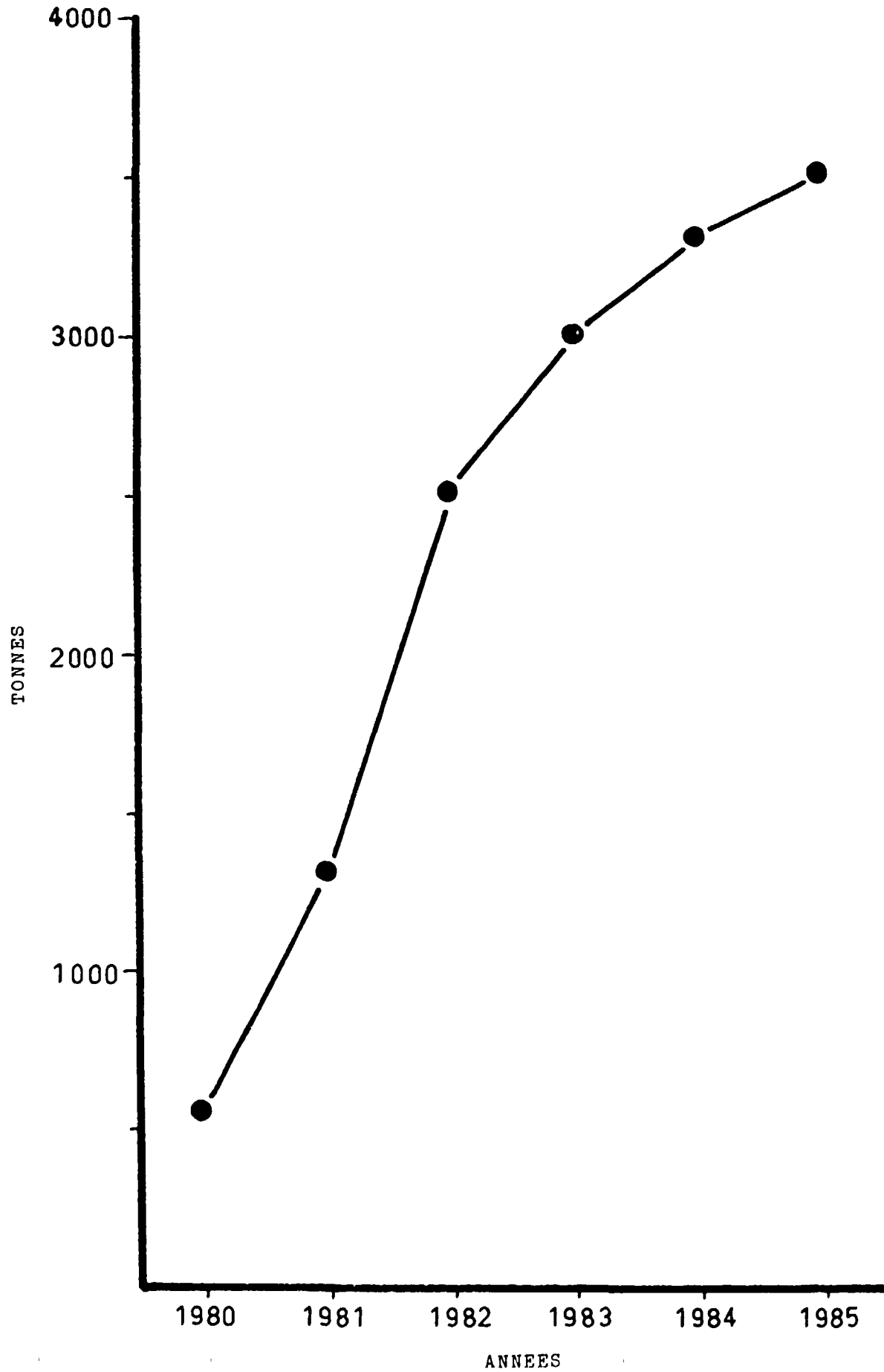
VENTE DE PRODUITS A  
BASE DE SPIRULINE



VALEUR DES PRODUITS A BASE DE SPIRULINE VENDUS



MARCHE POTENTIEL DES PRODUITS A  
BASE DE SPIRULINE



La direction de Sosa Texcoco vise le marché des vitamines, riche de promesses d'expansion. Les projets de ventes de vitamine B<sub>12</sub> sont particulièrement intéressants. La teneur de cette vitamine est égale à 255 mcg B<sub>12</sub> par 100 g de la protéine comestible (Clément, 67); elle est plus forte que celle des aliments au soja fermentés, d'autres algues, des produits laitiers, de la viande et du poisson.

Le chiffre total des ventes de 1980 indique que la capacité actuelle de l'installation, à savoir en moyenne 1 tonne par jour en travaillant à trois équipes, ne suffira pas. Il faudra construire de nouveaux éléments analogues au premier.

#### DESCRIPTION DES ALGUES TRAITÉES

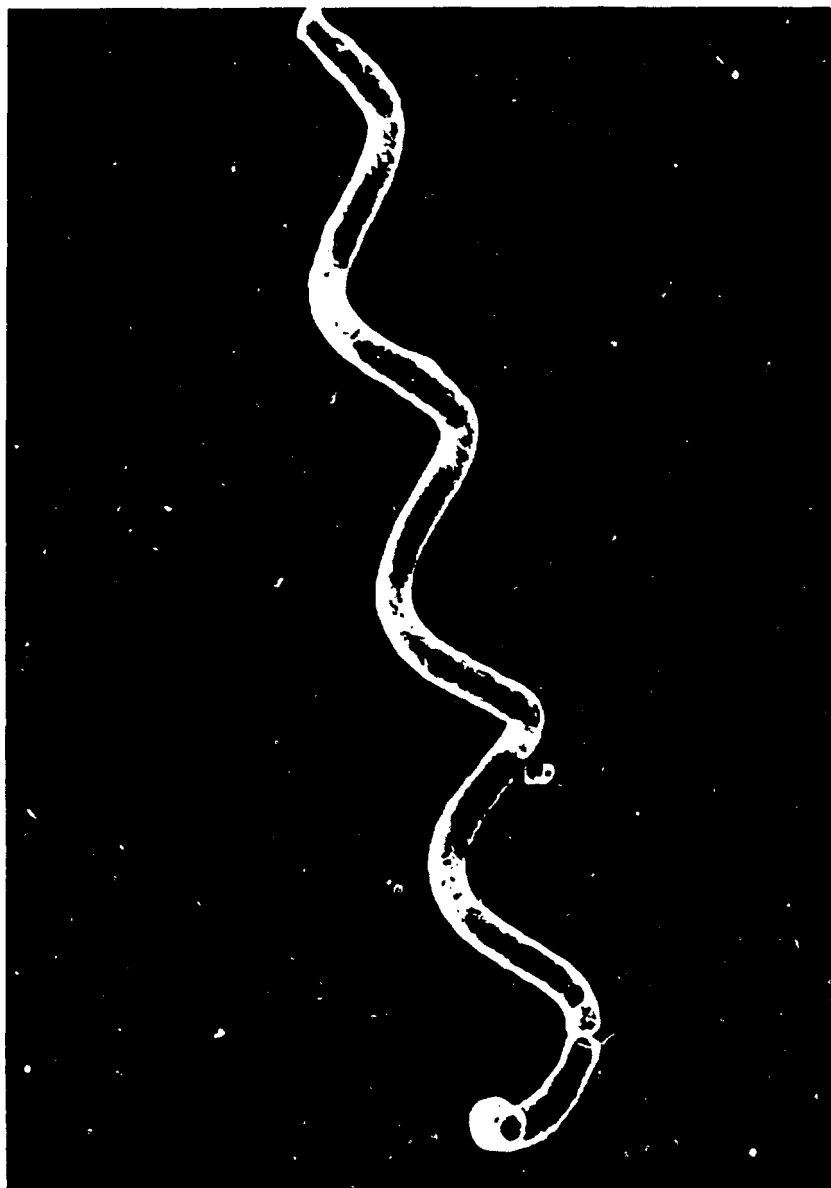
##### a) Taxonomie

Spirulina Geitleri J. de Toni : appartient à la famille des Oscillatoriacées, ordre des Nostocales, Division des cyanophytes. Ces mêmes algues ont été désignées dans les publications mondiales sous les appellations suivantes :

- Arthrospira maxima Setchell et Gardner (N. L. Gardner 1917);
- Spirulina maxima (M. Pinta, F. Busson, 1969);
- Oscillatoria pseudoplatensis (F. Morty et F. Busson);
- Arthrospira platensis (Dangeard, 1940);

##### b) Morphologie

Grossie 350 fois, la spiruline G. apparaît comme un trichome de 7 à 9  $\mu$  de diamètre ayant la forme d'une spirale régulière ouverte à 3 à 8 spires d'un diamètre de 40 à 60  $\mu$ , d'une longueur de 70 à 80  $\mu$ , légèrement chanfreinées aux extrémités, avec des cellules de 5 à 7  $\mu$  de longueur, non rétrécies aux articulations, un protoplasme à grains assez grossiers souvent rassemblés le long des divisions transversales; parois extérieures des cellules apicales arrondies et légèrement épaissies; couleur vert-de-gris. Les figures des pages 50 et 51 représentent l'aspect au microscope des cellules vivantes.

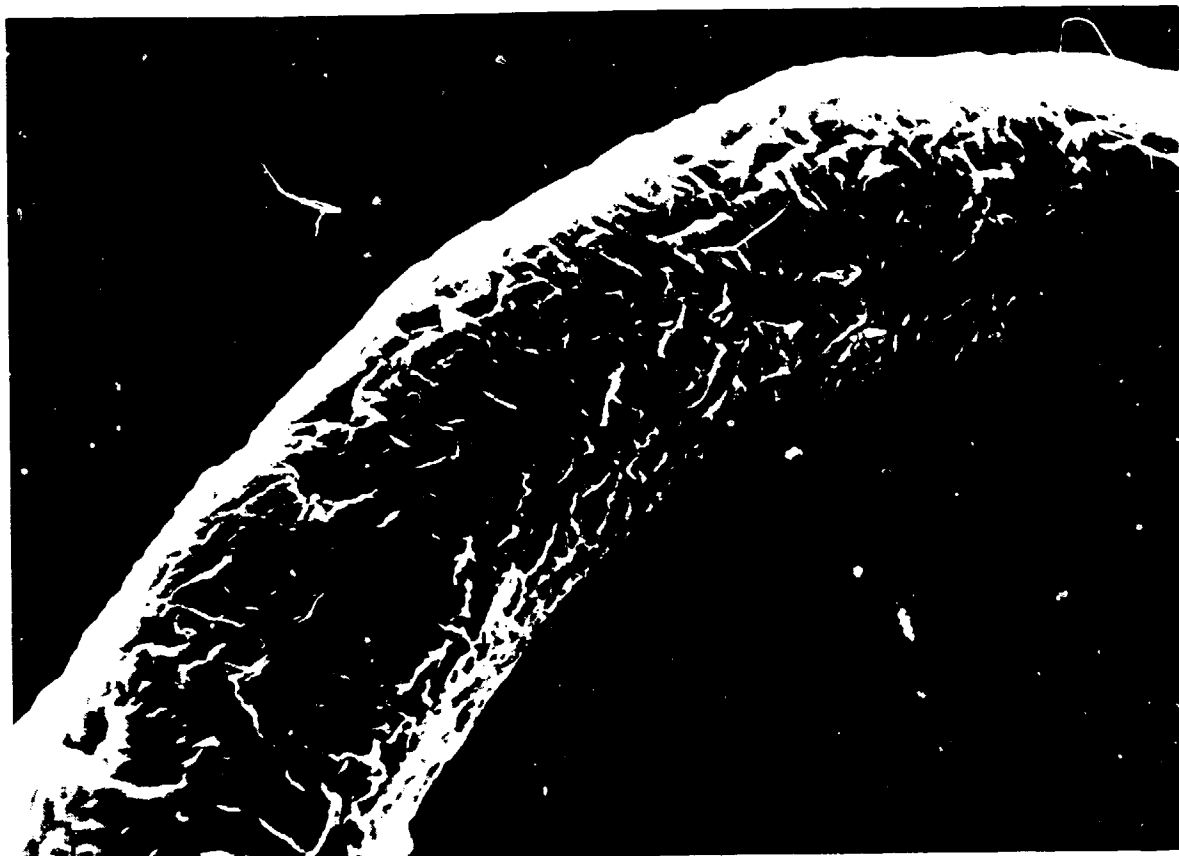


750 fois





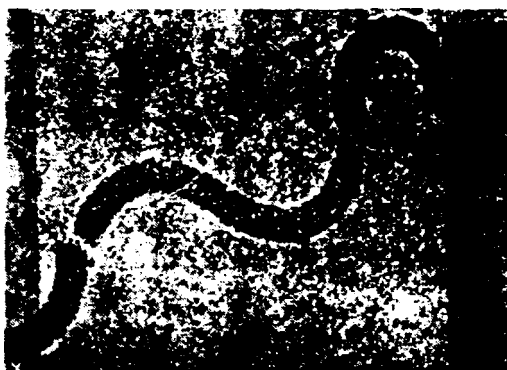
900 fois



Spécimen vivant  
grossi 7 500 fois

La reproduction de la spiruline commence par la nécrose de certaines cellules constituant des membranes transversales qui donnent plusieurs fragments du filament en huit minutes environ. De nouveaux filaments croissent longitudinalement jusqu'à maturité, comme l'illustre la figure ci-dessous (Nakamura).

Dans l'environnement naturel du Caracol de Sosa Texcoco il faut de 2 à 4 jours pour reproduire la masse algale. Les vacuoles de gaz spécifiques des algues bleu vertes permettent aux filaments de spirulina de flotter à la surface des eaux, où elles s'emmêlent souvent pour former des bouchons; lorsque la photosynthèse est très intense, la pression de turgescence peut devenir excessive et les vacuoles de gaz s'effondrent : les cellules ne peuvent plus flotter et les algues sombrent pour gagner une zone moins lumineuse à une profondeur plus grande.



Estimation de la croissance quotidienne dans les bassins A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> et A<sub>3</sub>

On a procédé à une estimation de la croissance pendant une période de 66 jours à partir du 8 août 1975, date à laquelle on a isolé le bassin de 10 hectares, jusqu'au 13 octobre 1975, de la façon suivante (Goldenberg, ONUDI) :

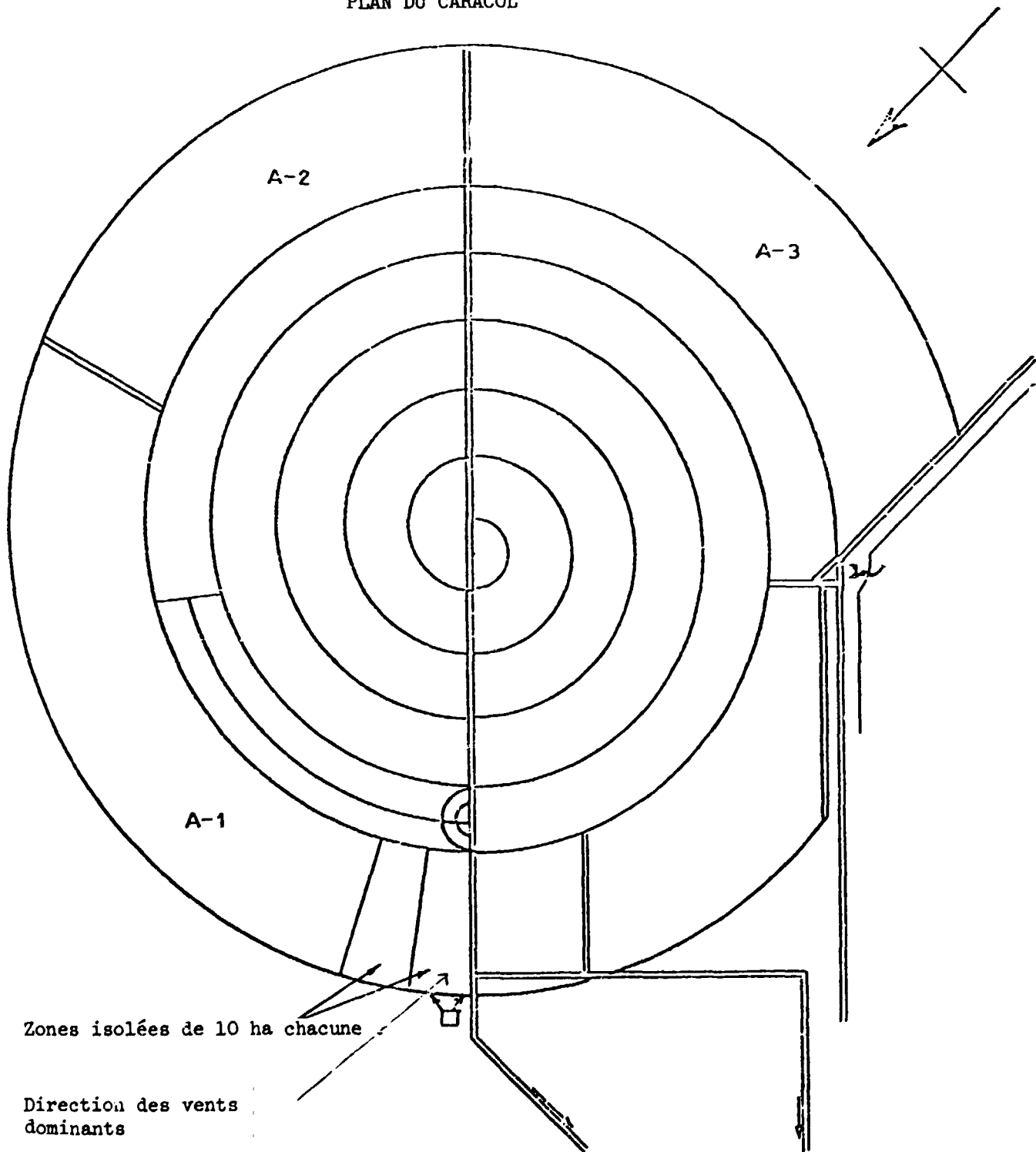
Concentration moyenne des algues le 8 août 1975	117 mg algues sèches/l
Concentration moyenne des algues le 13 oct. 1975	129 mg algues sèches/l

CULTURE

La spirulina pousse dans le Caracol (escargot), bassin de stockage de la Sosa Texcoco qui sert à la concentration solaire de sels de sodium par évaporation. Le secteur de la croissance de la spirulina a une superficie de 100 hectares et un volume de  $6,10^8$  litres. La spiruline pousse dans les zones A-1, A-2 et A-3 (voir la figure).

Deux zones ont été artificiellement isolées en vue de l'exploitation de la spiruline. Voir ci-dessous :

PLAN DU CARACOL

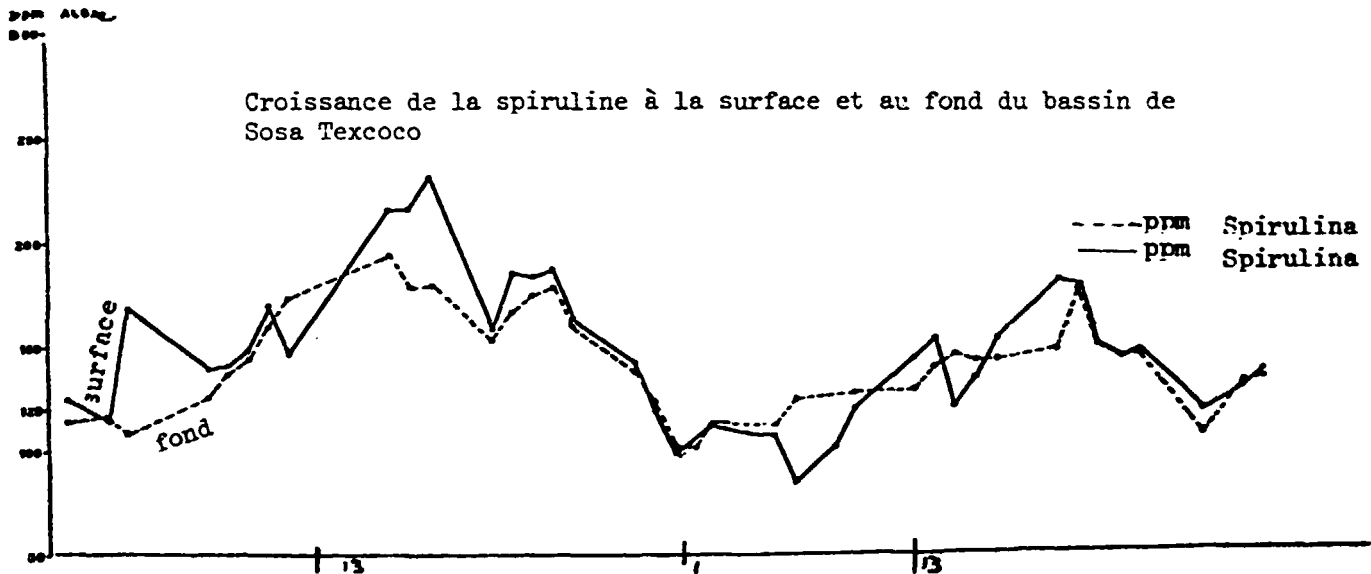


Zones isolées de 10 ha chacune

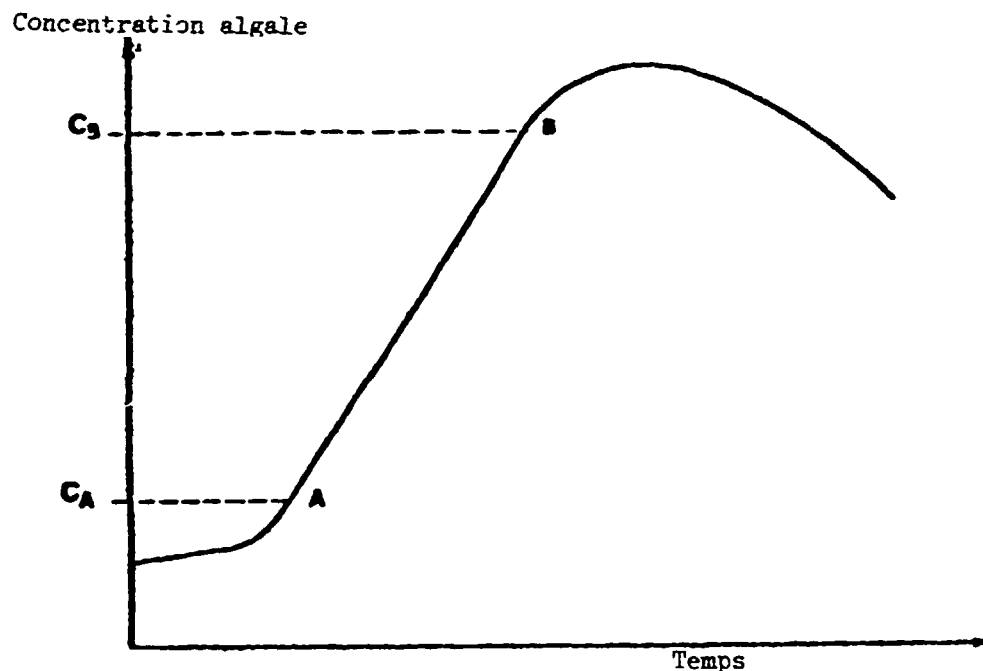
Direction des vents dominants

Concentration de la spiruline dans le bassin de Sosa Texcoco

La concentration des biomasses algales varie de 60 à 240 ppm. comme le montre le graphique ci-dessous. Il y a une corrélation entre la teneur en biomasse du fond et celle de la surface du bassin. A quelques exceptions insignifiantes près, les mesures effectuées à la surface correspondent à celles du fond. D'après des données publiées ailleurs (Goldenberg, ONUDI) il n'y a pas de corrélation entre la production de biomasse et la teneur en azote nitrique du milieu. L'azote nitrique est considéré comme la meilleure source d'acote : il ne nuit pas aux algues et n'a pas d'effet nocif sur le dégagement externe de Ph (alors que le sel d'ammonium peut être une source d'azote toxique). Les expériences semblent confirmer que le nitrate est réduit en ammoniac avant son entrée dans le métabolisme général de l'azote de la spiruline (D. J. D. Nicholas).



La courbe théorique de croissance d'une culture de spirulina à Sosa Texcoco a la forme suivante :



L'intersection des lignes  $C_A$  et B dépend des conditions de la culture et représente la phase logarythmique de croissance. Les conditions constantes de nutrition figurées au-dessus des lignes A et B varient de 70-80 ppm à 270-300 ppm de spiruline sèche par litre. En raison favorable, le rendement en spiruline pourrait atteindre  $10 \text{ g/m}^2/\text{jour}$ . Pour dépasser cette quantité il faudrait ajouter périodiquement certains composés chimiques (Goldenberg, ONUDI!).

Le taux de croissance de la spiruline comporte une valeur maximale et une période pendant laquelle la culture est compromise. Cela peut être dû à la formation d'une substance inhibitrice de la croissance qui pourrait être un polyène en réaction réciproque avec les stérols présents dans la membrane. On a la preuve d'une formation complexe d'antibiotiques et de stérols (Lampen et autres). Les polyènes peuvent soit inhiber la synthèse des stérols, soit remplacer les stérols en tant que réaction métabolique essentielle.

La croissance des algues peut entraîner des réactions. Une culture peut croître à un rythme normal pendant plusieurs jours et être ensuite rapidement détruite.

Au cours de la période étudiée, la température moyenne du bassin a été de 19°C (Figure de la page 59) et la production estimée du bassin d'environ 65 000 kgs qui se décomposent comme suit :

- production d'algues sèches	49 630 kgs
- perte estimée à 30 % de la production d'algues sèches	14 890 kgs
- différence entre la concentration initiale et finale du bassin de 10 hectares	980 kgs
	<hr/>
Production totale	65 500 kgs
	<hr/> <hr/>

Ce qui signifie une croissance quotidienne moyenne d'environ 9,9 g/m<sup>2</sup>. Dans ces conditions, et si l'on fait les investissements nécessaires, la production potentielle des bassins A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> et A<sub>3</sub> (500 ha) de Sosa Texcoco serait d'environ 50 tonnes par jour pendant la plus grande partie de l'année.

Les recherches effectuées dans des lacs où poussent des algues ont révélé une variation saisonnière de la quantité d'éléments nutritifs nécessaire. d'après les poids à sec des algues, Mackenthun (K. M. Mackenthun) dans une expérience portant sur un plancton lacustre principalement peuplé d'algues a constaté les variations suivantes de la composition de ce plancton :

printemps - 400 kg/ha	été - 140 kg/ha
automne - 360 kg/ha	hiver - 110 kg/ha (poids sec)

Une population caractéristique pourrait donc fixer 36 kg/ha de N et 3,6 kg/ha de P.

Les algues bleues-vertes contiennent environ 6,8 % de N et 0,69 % de P. Une population algale pourrait théoriquement fixer environ 17 kg/ha N et 1,7 kg/ha de P.

Dans un autre bassin d'expérience où poussent exclusivement des algues (A. Fekete, D. Riemer et H. L. Motto) la quantité de N enlevé dans les tissus des algues a été équivalente à une concentration de 23 ppm dans la totalité des eaux. La teneur maximale constatée en tous temps dans cette eau a pourtant été de 4,1 ppm. De même, la quantité de P enlevée par les algues a été équivalente à une concentration de 1 ppm de P dans le bassin. Et pourtant l'analyse de l'eau n'a jamais révélé une concentration de P supérieure à 0,04 ppm. Les quantités de N du bassin ont donc apparemment été complétées à

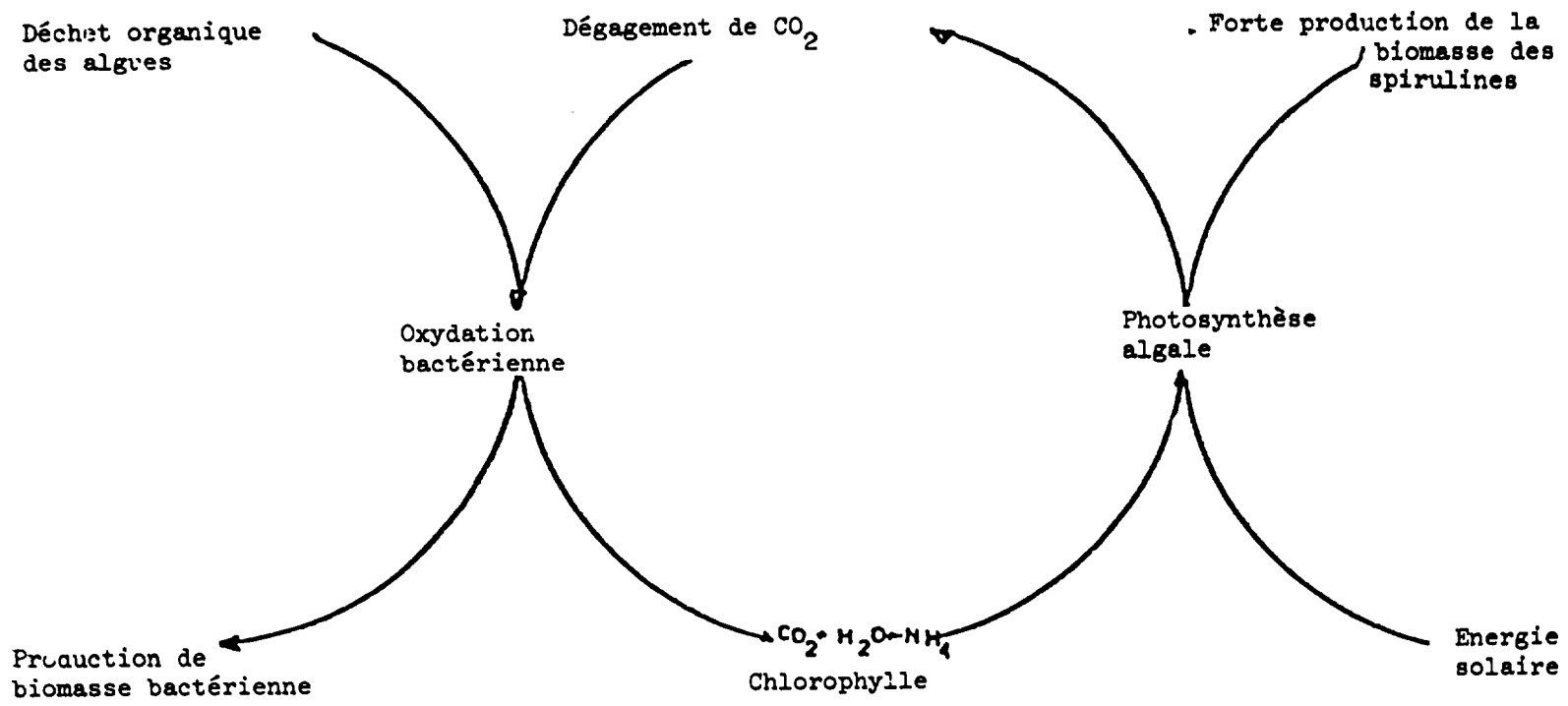
partir des sédiments du fond, ou par l'ammoniac des eaux pluviales, ou par la fixation de N, ou par ces trois facteurs réunis. Quant aux teneurs en P, on a présumé qu'elles avaient été rétablies à partir de réserves contenues dans les sédiments du fond. On peut donc en conclure :

- a) Que l'on peut retirer d'un bassin de grandes quantités de N et de P en récoltant des algues filamenteuses;
- b) Que l'effet de la réduction des teneurs en N et en P de l'eau peut être faible par rapport aux quantités enlevées, vu la continuité du réapprovisionnement;
- c) Que l'enlèvement continu des algues peut altérer la situation du bassin en sorte de ne plus permettre qu'une recroissance limitée des algues.

On peut réemployer constamment le même bac de culture car le reflux apporte aux deux bacs (voir page 53) de petits filaments qui n'ont pas servi dans le processus de la production.

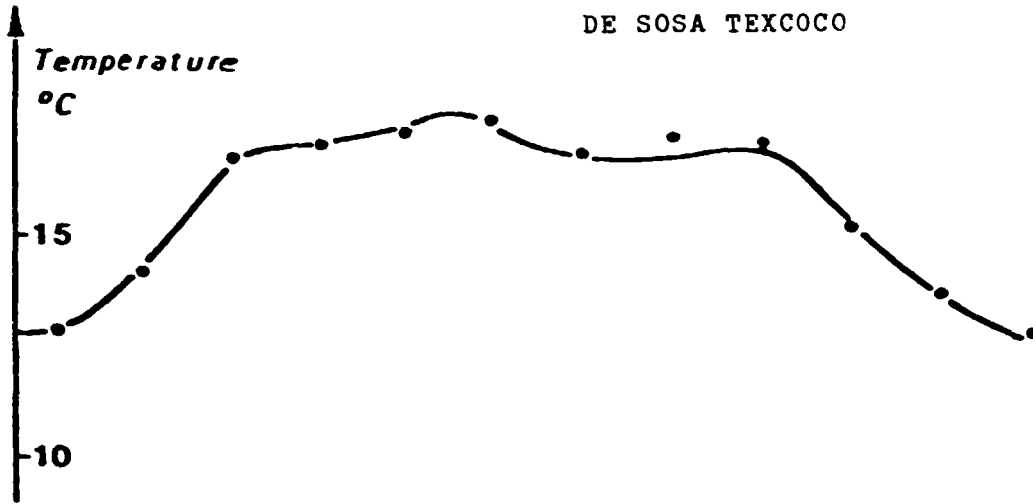
En se mélangeant aux bactéries dans cet habitat naturel leur biomasse augmente du fait du système d'autopurification figuré ci-dessous :



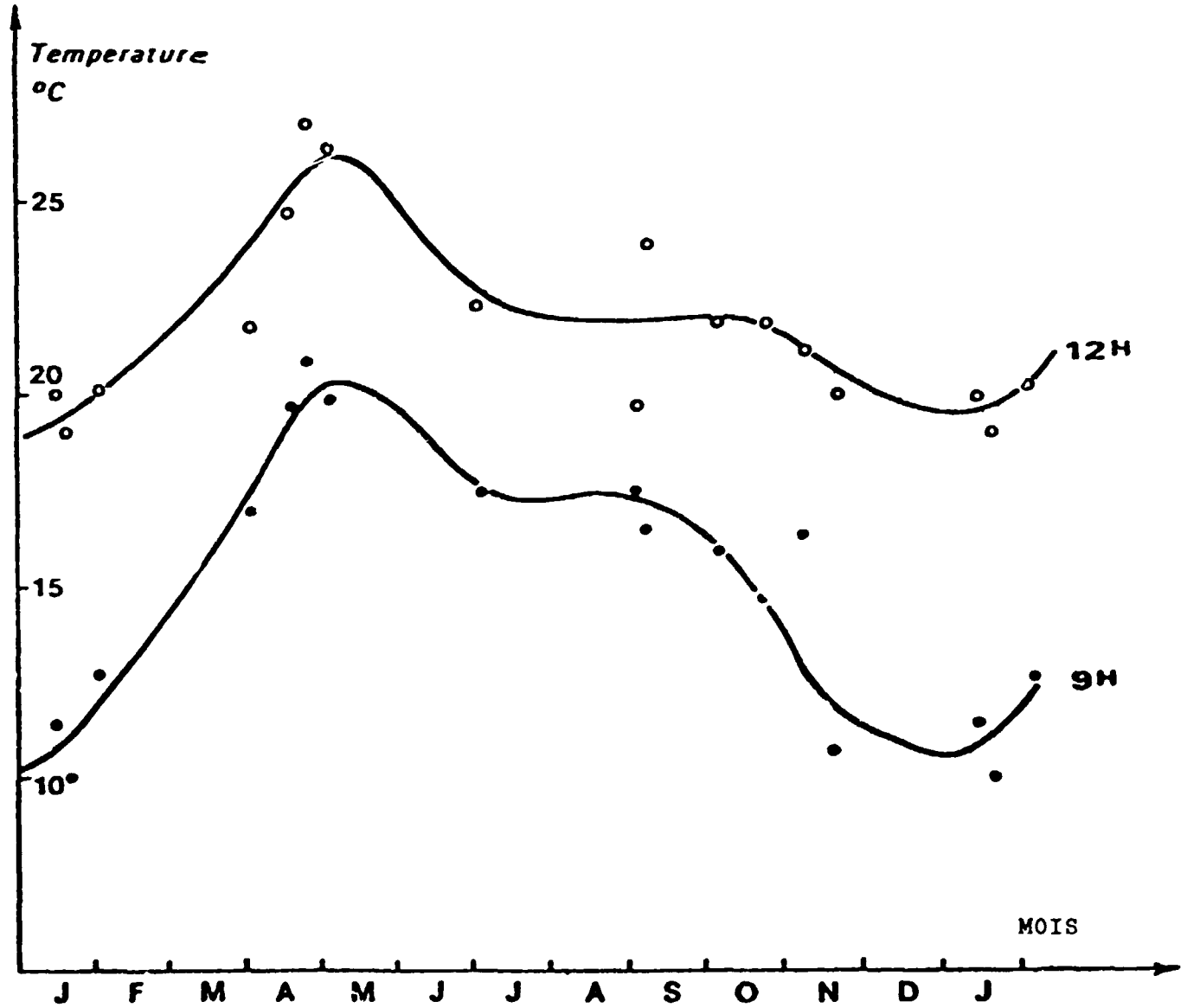


SYMBIOSE DES ALGUES ET DES BACTERIES DANS LE CYCLE DE  $\text{CO}_2$  et  $\text{O}_2$

MOYENNES MENSUELLES DE LA TEMPERATURE DU BASSIN  
DE SOSA TEXCOCO

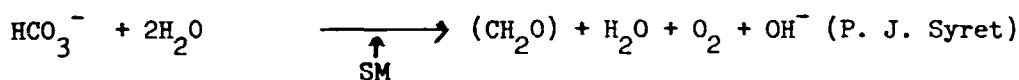
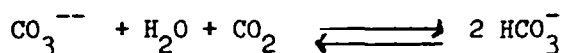


TEMPERATURES RELEVÉES A 9 h ET A 12 h AU BASSIN DE SOSA TEXCOCO



d) Aération par CO<sub>2</sub>

Une source de carbone sous la forme de CO<sub>2</sub> est indispensable à la bonne croissance de la spiruline en vertu de la réaction chimique.



L'absorption de la lumière est essentielle à la formation du CH<sub>2</sub>O qui joue un rôle important dans le métabolisme de la réduction et de l'assimilation des nitrates, en vertu de la formule  $2(\text{CH}_2\text{O}) + \text{NO}_3 + 2\text{H}^+ \longrightarrow \text{NH}_4^+ + 2(\text{CO}_2) + \text{H}_2\text{O}$  (L. H. J. Bongers) (Réduction de l'ion de nitrate au niveau de l'ammonium). Les ions OH<sup>-</sup> prennent part au parcours d'assimilation de NO<sub>3</sub> (qui s'accompagne aussi d'un dégagement d'OH<sup>-</sup>) (D. J. D. Nicholas). CO<sub>2</sub> joue également un rôle important dans l'abaissement de pH du milieu au-delà de 11,3. Les éléments nutritifs tels que les carbonates, et phosphates de calcium et de magnésium, qui jouent un rôle important dans la croissance de la spiruline, subissent une diminution quantitative lorsque le pH du milieu augmente. Comme un échange efficace des gaz est indispensable pour assurer des taux de croissance élevés, il importe que l'interface gaz-liquide soit grande (R. A. Lewin).

e) Température et éclairage du bassin de Sosa Texcoco

L'éventail des températures convenant à la croissance de la spiruline est sensiblement plus large que pour les autres espèces d'algues. Dans le bassin de Sosa Texcoco, cette gamme de températures au cours d'une période de 9 heures de jour s'étend sur 10°C (figure de la page 59).

f) J. L. Luna a étudié l'éclairage solaire du bassin de Sosa Texcoco et son influence sur la croissance des algues en fonction de l'intensité de cet éclairage.

On peut extrapoler de la façon suivante une méthode de calcul de la productivité de la biomasse algale en fonction de l'éclairage :

$$\begin{array}{l} 1 \text{ mg O}_2 \text{ ----- } 3,68 \text{ cal.} \\ \bar{S} \text{ ----- } X \qquad \qquad X = \frac{\bar{S} \text{ mg O}_2}{3,68 \text{ cal.}} \end{array}$$

En introduisant le rendement photosynthétique, nous obtenons :

$$E_s = \frac{I_s}{-I_0} \left( 1 + \ln \frac{I_0}{I_s} \right)$$

$E_s$  = rendement photosynthétique

$I_s$  = éclaircissement du point de saturation

$I_0$  = irradiation solaire aux bacs de culture

Il se calcule d'après le graphique de l'irradiation solaire à différentes profondeurs des bacs de culture.

Nous obtenons :

$$X = \frac{E_s}{3,68} \frac{\bar{S}}{\text{cal.}} \text{ mg } O_2$$

où :

$\bar{S}$  = irradiation solaire (cal./cm<sup>2</sup>/jour)

$O_2$  = oxygène dissous dans les bacs de culture (mg/l)

$E_s$  = rendement photosynthétique

$X$  = production de biomasse cellulaire (g/m<sup>2</sup>/jour).

Des augmentations massives du nombre des algues, phénomène qu'on appelle la "floraison" (M. M. Telitchenko, G. V. Tsatsarine et Y. L. Shirokova), sont dues à la présence dans l'eau d'éléments sous forme de traces. On a établi que les algues bleues-vertes concentrent, à partir de l'eau, 18 éléments dont l'un est le cuivre. Lorsque les réserves du cuivre sont épuisées, la "floraison" des cyanophycées (algues bleues-vertes) dans l'eau s'arrête. On ne constate de floraisons répétées que lorsque l'eau s'enrichit de cuivre du fait de la mort de la génération d'algues précédente.

La composition chimique de la zone A<sub>1</sub> du bassin de Sosa Texcoco est la suivante :

Situation actuelle	ppm	Micro-éléments (Arnon, D.)	ppm
Cl <sup>-</sup>	5 200		
*HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1 500		
CO <sub>3</sub> <sup>--</sup>	2 250	B	**
*N(NO <sub>3</sub> )	18,5	Mn	0,1
N org. et ammoniacal	22,1	Zn	0,41
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	468	Cu	0,064
*P O <sub>4</sub> <sup>--</sup>	70,7	Mo	**
*Fe <sup>++</sup>	0,30	V	**
*Ca <sup>++</sup>	10,90	Cr	**
*M <sub>g</sub> <sup>++</sup>	8,35	Ni	0,009
Na	5 150	Co	0,016
K	520	Ti	**
pH = 10 à 22°C		W	**

\* Ions régulièrement adaptés.

\*\* Addition projetée.

La figure de la page 64 montre la variation effective des éléments nutritifs, au cours d'un trimestre, que contient le bassin où l'on récolte la spiruline. Celle de la page 65 donne, à titre de comparaison, les variations dans l'a. re zone du bassin A (Goldenberg, ONUDI).

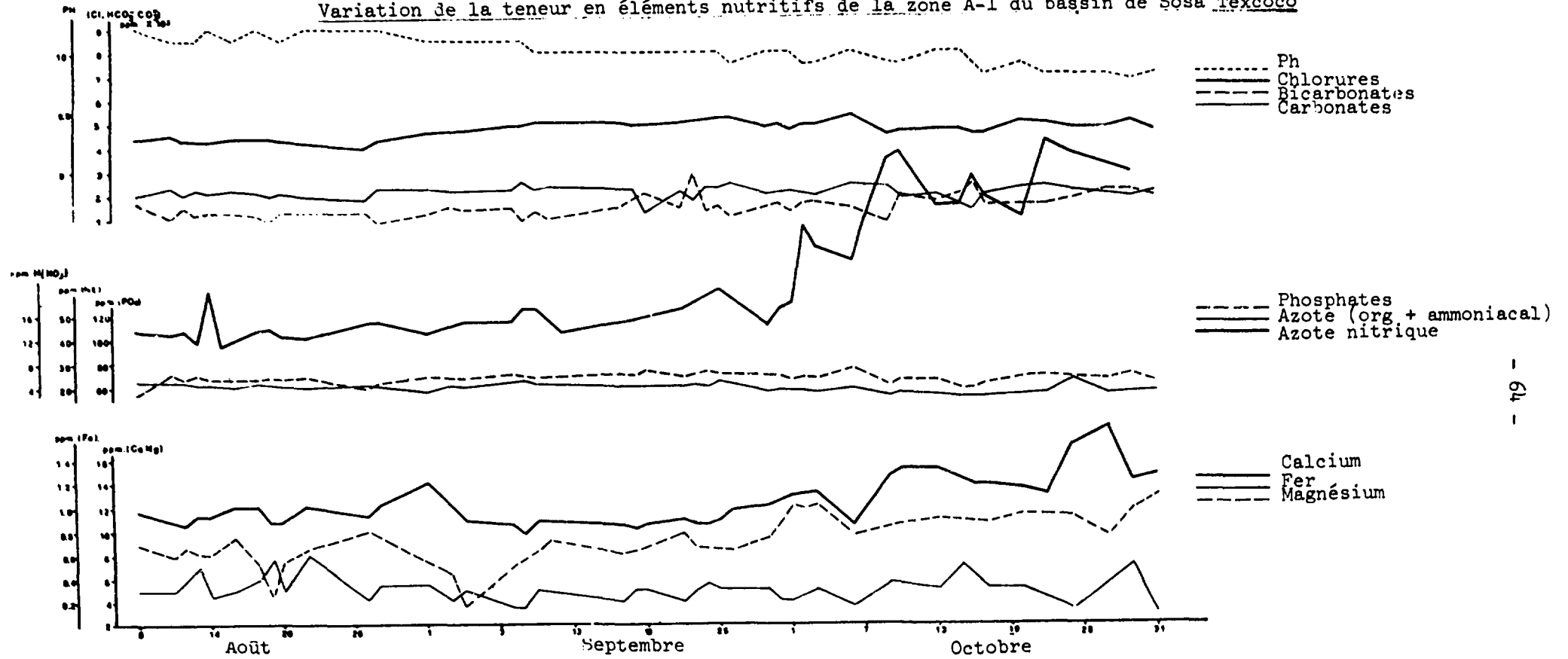
Eutrophisation du bassin de Sosa Texcoco (Zone A<sub>1</sub>)

90 pour cent des éléments macro et micronutritifs sont utilisés (Luna).  
Luna a également calculé que pour produire 1 kilo de produit fini de la spiruline il fallait :

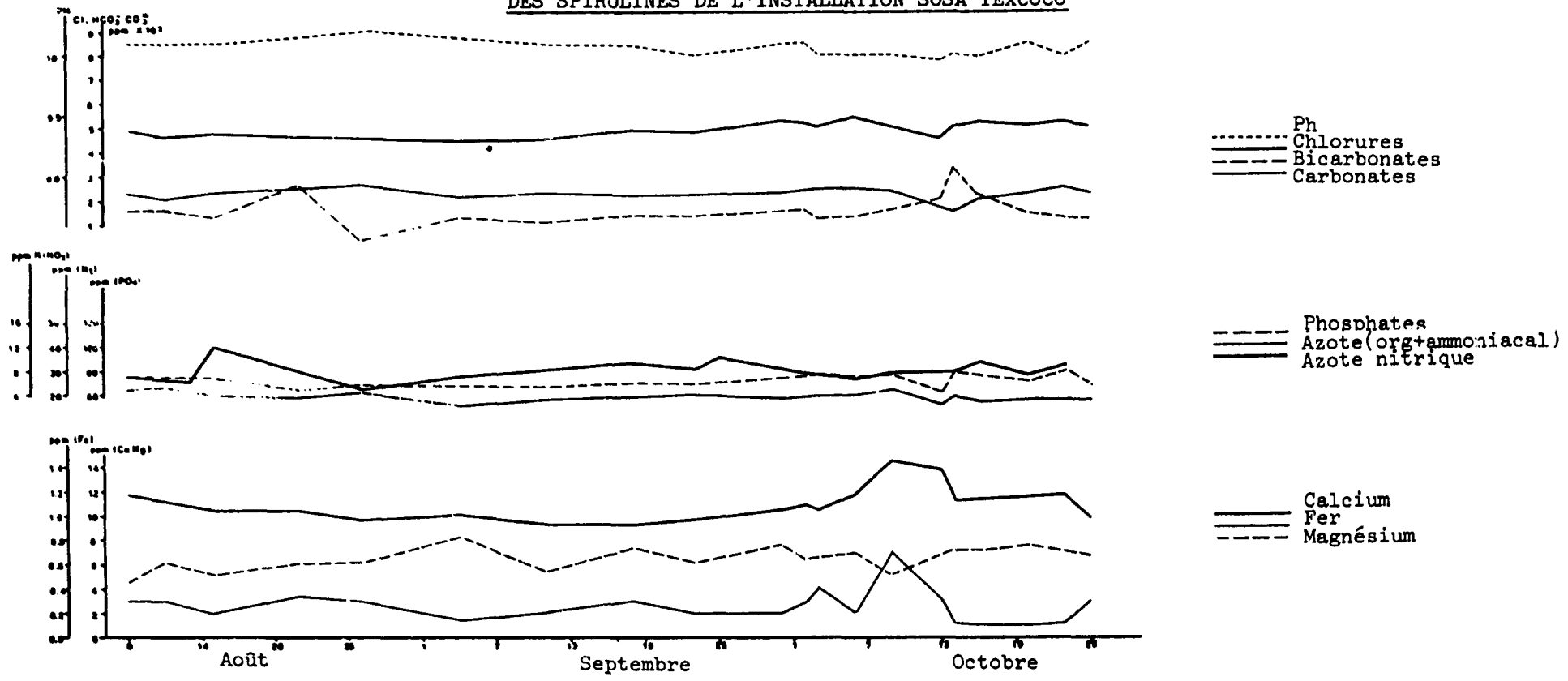
Macronutritifs :	550 Kg C
	100 Kg N
	30 g S
	15 g Na
	16 g P
	2 g Mg
	1 g Ca

Micronutritifs : Traces.

Variation de la teneur en éléments nutritifs de la zone A-1 du bassin de Sosa Texcoco



VARIATIONS DES TENEURS EN ELEMENTS NUTRITIFS DU BASSIN DE CULTURE  
DES SPIRULINES DE L'INSTALLATION SOSA TEXCOCO





EXPERIFNCES SUR L'EUTROPHISATION EFFECTUEES SOUS LES AUSPICES  
DE L'ONUDI

Ces expériences, destinées à augmenter la carbonatation des zones de culture de la spiruline ont été effectuées (Goldenberg, ONUDI) au niveau des filtres ainsi qu'au reflux (tour à remplissage). Les deux tableaux qui suivent en donnent les résultats :

Carbonatation au niveau des filtres à plan incliné

	CO <sub>2</sub> alimenté en % volume			
	100	38	38	10
I = liquide l/mn	200	200	200	200
L' = liquide g/mn	203000	204522	204522	204522
G = gaz l/mn	14,2	76	46,7	165,6
G' = gaz g/mn	21,5	89,6	55,1	171,6
(NaCO <sub>3</sub> ) initial en g mol/l	0,0415	0,0480	0,0480	0,0480
(NaHCO <sub>3</sub> ) initial en g mol/l	0,0192	0,0345	0,0345	0,0345
L' / G'	9442	2283	3712	1192
CO <sub>2</sub> alimenté en g/mn	21,5	47,5	26,5	23,6
CO <sub>2</sub> absorbé en %	98	77,7	84	31
CO <sub>2</sub> absorbé en g/mn	21,1	36,9	22,3	7,31
CO <sub>2</sub> absorbé en kg/15 000 m <sup>3</sup> liq.	1583	2767,5	1657	548
pH initial	-	9,81	9,81	9,81
pH final	-	9,76	9,77	9,9
T ° du liquide en ° C	19,5	17,5	17,5	17,5
Durée de la réaction en sec.	4-5	4-5	4-5	4-5

Pression d'alimentation en CO<sub>2</sub>air = la pression atmosphérique

Pression de sortie du gaz du réacteur = la pression atmosphérique

Carbonatation dans une tour à remplissage

	CO <sub>2</sub> alimenté en %		volume
	100	12,3	10
L = liquide l/mn	18,6	16,7	16,7
L' = liquide g/mn	18879	16950	16950
G = gaz l/mn	5,6	39,5	38,5
G' = gaz g/mn	8,7	41,6	40,05
(NaCO <sub>3</sub> ) initial en g mol/l	0,0412	0,0393	0,0390
(NaHCO <sub>3</sub> ) initial en g mol/l	0,0254	0,0295	0,0296
L' / G'	2170	407,5	423
CO <sub>2</sub> alimenté en g/mn	8,7	7,3	5,77
CO <sub>2</sub> absorbé en %	90,4	26,5	37,7
CO <sub>2</sub> absorbé en g/mn	7,87	1,94	2,17
CO <sub>2</sub> absorbé en kg/15 000 m <sup>3</sup> liq.	6350	1742	1950
pH initial	-	9,80	9,80
pH final	-	9,73	9,71
T ° du liquide en °C	20,5	19,5	19,5
Durée de la réaction en secondes	<u>72</u>	<u>80</u>	<u>80</u>

Pression d'alimentation en CO<sub>2</sub>/air

Pression de sortie = pression atmosphérique

Il importe d'assurer l'homogénéité du bassin de culture.

Actuellement, il n'y a pas d'homogénéisation réelle, le bassin étant soumis aux effets du vent et d'un faible courant dû au rejet des filtres (500 à 750 m<sup>3</sup>/heure), courant qui, de surcroît, suit des voies préférentielles.

Etant donné la profondeur moyenne du bassin (80 à 85 cm) et son étendue (10 hectares, longueur 500 m) le choix des moyens susceptibles de créer cette homogénéisation se trouve très limité.

En effet, pour que le moyen utilisé soit efficace, il faut qu'il produise non seulement une forte agitation, mais aussi un courant horizontal suffisamment fort et profond pour pouvoir mettre en mouvement une bonne partie de la masse du liquide.

Néanmoins, cette homogénéisation peut être une arme à double tranchant et son utilisation sans discernement pourrait avoir de graves conséquences. En effet la température du milieu de culture est un facteur limitatif de la croissance à des températures inférieures à 17-18°C, la croissance diminue fortement.

La profondeur moyenne du bassin étant importante, l'énergie solaire absorbée crée une certaine stratification de températures. Selon les conditions, la différence de température entre 5 et 30 cm de la surface, peut atteindre 2 à 7°C, et entre la surface et 30 cm, 10 à 15°C.

Il s'ensuit que l'homogénéisation du bassin, qui constitue un très grand volant thermique, devra être effectuée de manière à ne pas baisser la température des couches supérieures inconsiderablement. On la fera en fonction de la température ambiante, de la formation des plaques d'algues, et au moins durant les périodes de la journée où cette température et celle du milieu de culture sont égales. La formation de plaques exige une technique de mélange minutieuse, sans quoi les algues seront détruites.

D'autre part, au point de recirculation du bassin (voir p. 72), l'homogénéisation devra se faire 24 heures sur 24.

Un des buts de cette recirculation est d'augmenter la concentration dans la zone de rejet des filtrats de manière à ne pas se trouver dans des conditions de croissance latente (voir fig. p. 72).

Parmi les moyens qu'on peut utiliser pour effectuer cette homogénéisation, on peut citer les hélices à axe horizontal, les roues à aubes ainsi que l'usage de divers types de pompes.

L'emploi de ces appareils permet d'éviter les inconvénients suivants (Goldenberg ONUDI) :

- 1) Le ralentissement de la diffusion des éléments nutritifs;
- 2) La formation de plaques d'algues entraînant leur décomposition et par suite la pollution du bassin.

Vitesses atteintes dans un bassin d'expérience de 85 cm de profondeur et 100 m<sup>2</sup> de superficie au bout d'1 heure et 40 minutes de marche

Eloignement des moteurs	90 m		120 m		150 m		175 m	
	F	S	F	S	F	S	F	S
Eloignement de la paroi								
10 m	122	145	52	37	52	24	39	*
20 m	159	145	49	69	33	33	20	*
30 m	83	145	63	26	18	54*	18	*

Vitesse atteinte dans un bassin d'expérience de 85 cm de profondeur et 100 m<sup>2</sup> de superficie au bout d'1 heure et 40 minutes de marche

Eloignement des moteurs	75 m		90 m		150 m		175 m	
	F	S	F	S	F*	S	F	S
Eloignement de la paroi								
5 m	76	103	54	95	50	86	36	86
10 m	88	70	54	93	69	86	43	88

F = Vitesse atteinte à 15 cm du fond, en mm/sec.

S = Vitesse atteinte à 15 cm de la surface, en mm/sec

F\* = Vitesse atteinte à 30 cm du fond à cause du vent

Vitesse atteinte en fonction du temps de marche

Durée de marche	5'		10'		15'		30'	
	F	S	F	S	F	S	F	S
Moteur marin	186	199	184	198	188	202	186	202
Pompe Barnes*	155	213	169	207	175	198	176	202

F = Vitesse atteinte à 15 cm du fond, en mm/sec

S = Vitesse atteinte à 15 cm de la surface, en mm/sec

\* = Homogénéisation arrêtée au bout de 2 heures en raison de la rupture de 30 % des algues

On a essayé les modèles suivants d'hélices marines :

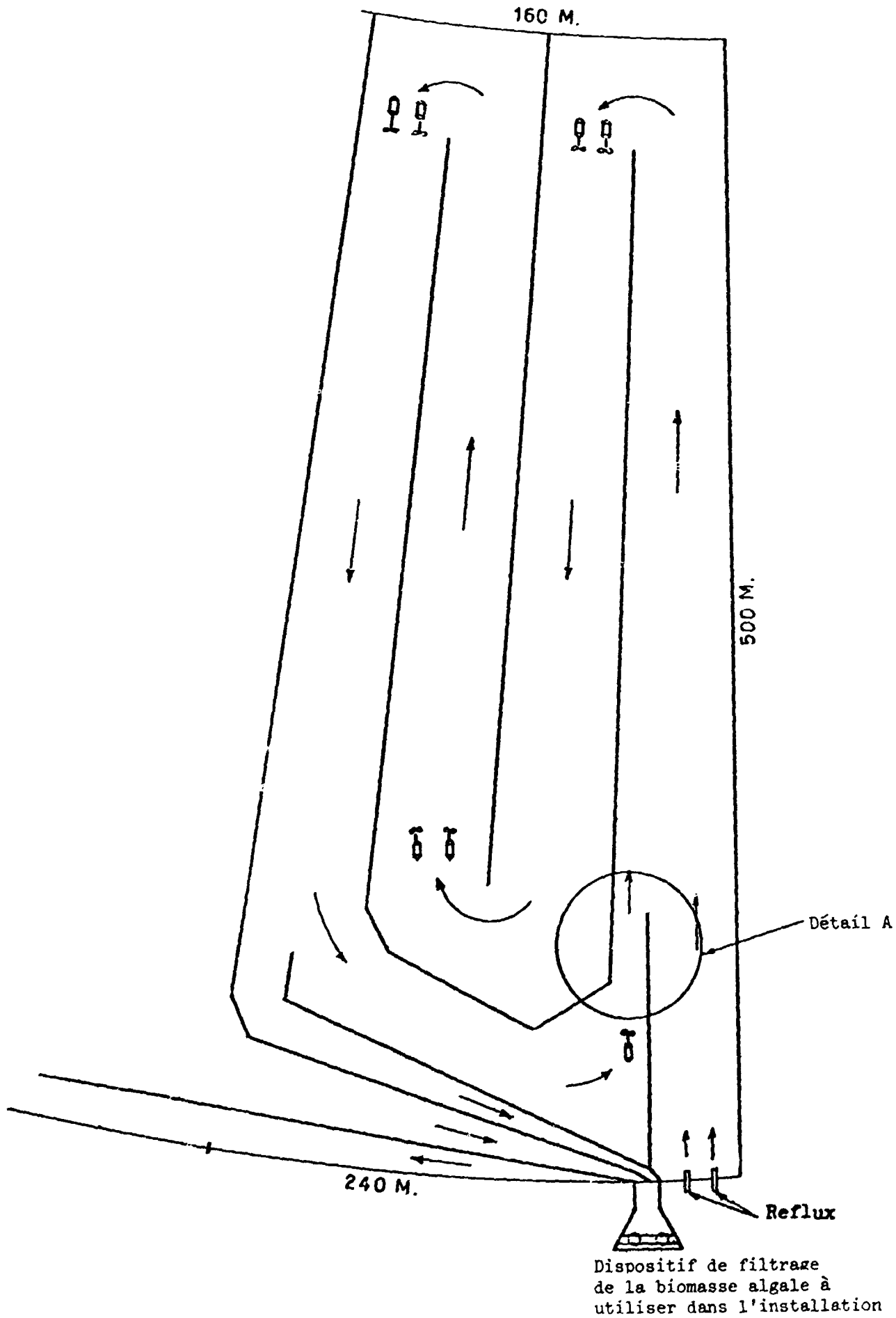
Marque	British Sea Gull
Puissance	6,5 cv
Régime maximum	4 000
Réduction	12/48
Diamètre de l'hélice	28 cm
Nombre des pales	5

Marque	Johnson
Puissance	4 cv
Régime maximum	4 500
Réduction	12/25
Diamètre de l'hélice	7 1/2
Nombre des pales	3

Pompe centrifuge utilisée

Marque	Barnes
Débit	88 m <sup>3</sup> /h
Moteur électrique	15 cv
Vitesse de rotation	1 459
Diamètre	3
Longueur côté aspiration	6 m
Longueur côté refoulement	10 m

Zone du secteur A<sub>1</sub> du bassin de Sosa Texcoco isolée en vue des expériences d'homogénéisation (Goldenberg, ONUDI)



## STADES DE LA FABRICATION

### 1. Préconcentration (filtrage)

La concentration des algues qui poussent dans le cercle extérieur du Caracol dans les bacs de culture se situe normalement entre 100 et 300 mg/l. Il faut par conséquent préconcentrer la suspension. On y parvient en faisant passer la suspension diluée d'abord sur les filtres parallèles à plan incliné qui portent la concentration de la biomasse de 0,1 à 5-10 g/l. Les écrans font l'objet d'un lavage continu. L'eau de lavage s'écoule par gravité vers un filtre rotatif. Les surfaces filtrantes sont constituées par des mailles de nylon. L'eau de lavage des écrans rotatifs contient de 15 à 20 g/l d'algues.

Les filtres inclinés et rotatifs ont été conçus et construits spécialement pour filtrer très efficacement moyennant une faible dépense d'énergie.

### 2. Filtrage-extraction

Cette opération élimine ce qui reste du milieu de culture. La suspension algale est déshydratée pour donner un gâteau contenant de 15 à 20 % de solides sur un filtre sous vide.

### 3. Désintégration

La rupture mécanique des cellules donne un liquide d'une viscosité spécifique. Cette opération a aussi pour effet d'améliorer la digestibilité du produit final. Le désintégrateur, d'un modèle breveté fluidifie le produit et l'envoie par pompage à l'opération suivante, la pasteurisation.

### 4. Pasteurisation

La pasteurisation s'impose car l'opération suivante, à savoir le séchage par pulvérisation ne garantit pas la destruction de certaines bactéries qui peuvent survivre à un bref passage sous température élevée suivi d'un refroidissement rapide.



5. Séchage par pulvérisation

Le séchage par pulvérisation s'effectue par exposition à haute température pendant quelques secondes, suivie d'un bref refroidissement. Cette méthode permet de réduire au minimum la destruction d'acides aminés importants tels que lysine et pigment et vitamine typtophane.

6. Conditionnement

Le conditionnement comporte un broyage qui transforme les flocons provenant du séchage par pulvérisation en une farine qu'on envoie à un dispositif d'emballage et de stockage. Cette farine peut se conserver indéfiniment à condition d'être protégée contre l'action de la lumière et de la chaleur.

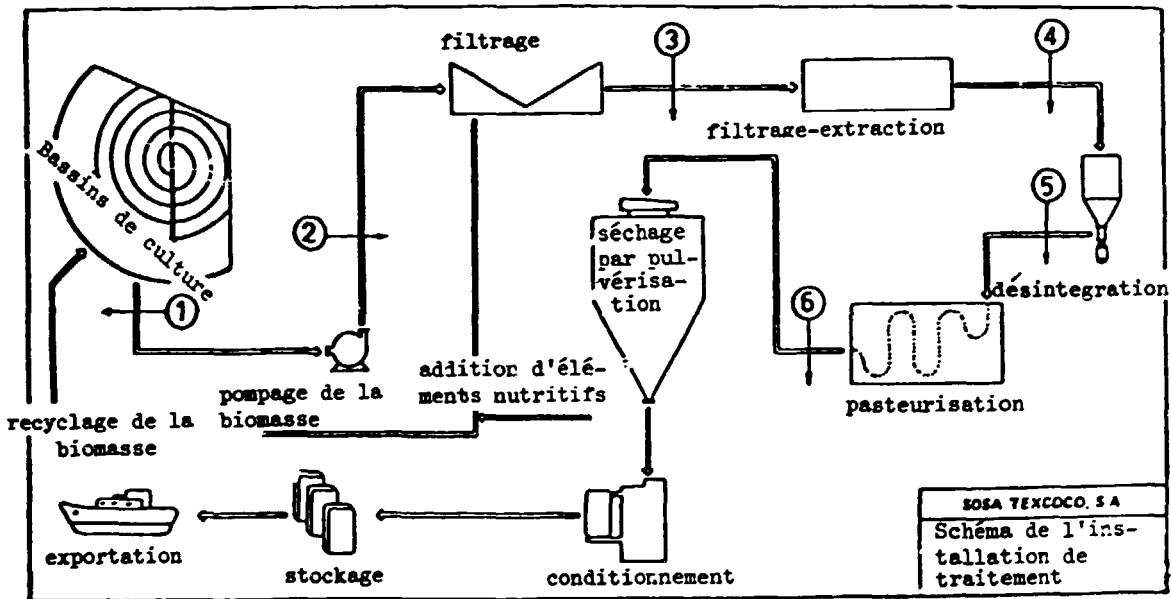


Schéma présenté par les dirigeants de Sosa Texcoco, d'une installation à l'échelle industrielle en cours de réalisation pour la récolte et le traitement de la ressource naturelle que constitue la spiruline

CONTROLES DE LA QUALITE COURANTS ET PERIODIQUES

a) On prélève des échantillons sur les 10 futs (de 100 kg chaque) produits en moyenne chaque jour, en vue d'un contrôle quotidien :

	<u>Valeur probable</u>
Humidité	4 - 7 %
Cendres	5 - 8 %
Protéine	60 - 70 %
Densité	0,43 - 0,55 g/cm <sup>3</sup>
Carotène	0,19 % (1,9 g/kg de produit)
Xantophylle	0,14 % (1,4 g/kg de produit)
Numération normale des colonies 2 jours 35°C	Maximum 20 000/g
Numération (electrophorèse sur gel d'agar - agar du sang) 2 jours 35°C	0
Numération (electrophorèse sur gel d'agar - agar du malt) 4 jours 25°C	
champignons	20 colonies/g
levure	20 colonies/g
MPN sur coliformes, 2 jours 35°C	20/g maximum *
Esch., Coli, Eosyne, Bleu de méthylène 1 jour 25°C	0/g maximum *

\* En cas de dépassement du maximum, on doit procéder aux essais suivants :

- E. Coli
- Salmonella
- Shigella

b) Contrôle courant quotidien de la culture :

- 1) Détermination des facteurs physiques (température, lumière, niveau de l'eau, précipitations, évaporation);
- 2) Détermination des facteurs physiques

La composition chimique attendue du bassin ST est la suivante :

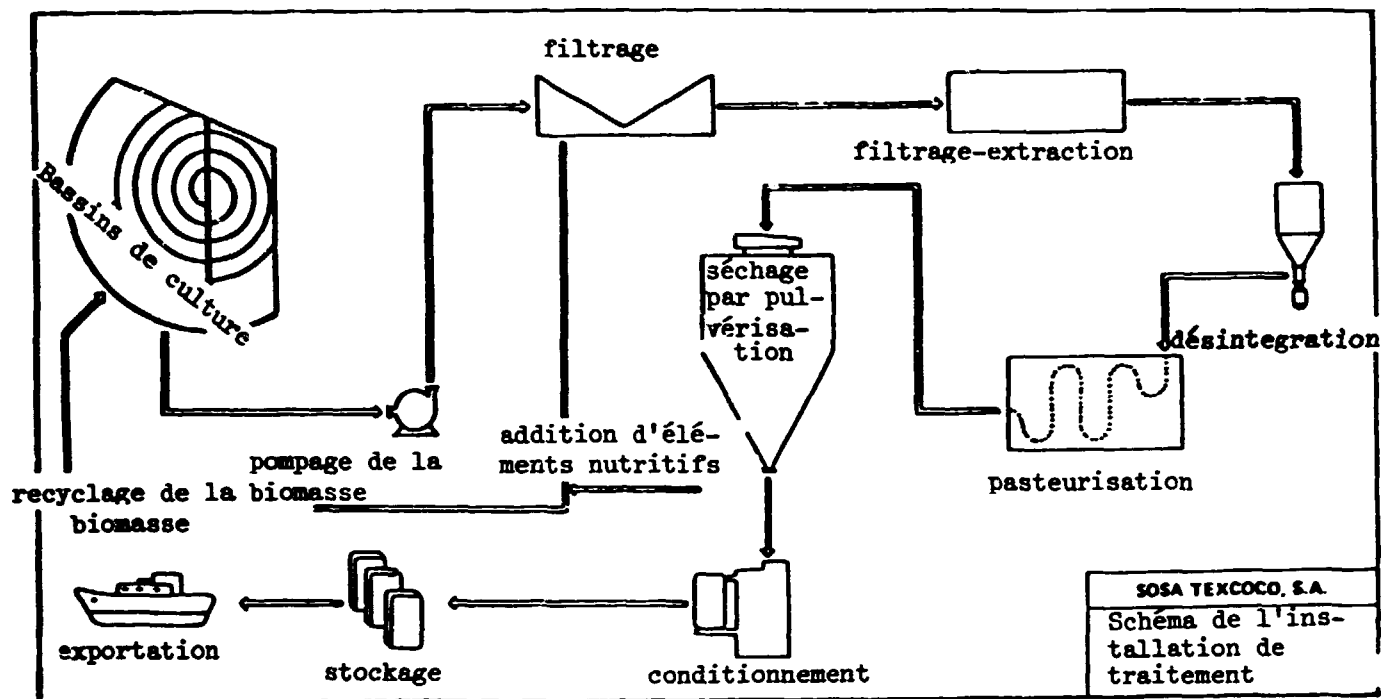
	<u>ppm</u>
Cl <sup>-</sup>	5 200
*HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1 500
CO <sub>3</sub> <sup>--</sup>	2 250
*N(NO <sub>3</sub> )	18,5
N org. et ammoniacal	22,1
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	460
*P O <sub>4</sub> <sup>--</sup>	70,7
*Fe <sup>++</sup>	0,30
*Ca <sup>++</sup>	10,90
*Mg <sup>++</sup>	8,35
Na	5 150
K	520
pH = 10 a 22° C	

\* Ions régulièrement ajustés par addition quotidienne au reflux.

On a vu page 64 les variations effectives de la teneur en éléments nutritifs du bassin où la spiruline est récoltée et, par comparaison, page 65 celles d'une autre zone du bassin de Sosa Texcoco.

- 3) Examen biologique et microscopique de la morphologie : couleur, dimension des spirulines. Egalement, détermination des contaminants éventuels tels que : autres espèces d'algues, protozoaires, bactéries, etc.

- c) Contrôle courant hebdomadaire de l'installation de production :  
points 2 à 6 du schéma; examen microbiologique et état sanitaire du matériel et du personnel;



- d) Contrôle périodique de la qualité

Effectués tous les trois mois sur les composants ci-dessous du produit fini :

Eau  
Protéine  
Graisse  
Fibres  
Cendres  
Hydrates de carbone non fibreux  
Tocophérol  
Thiamine  
Riboflavine  
Biotine  
Niacine  
Vitamine B6  
Vitamine B12  
Acide folique  
Amino azote  
    O Acide linoléique  
Cyanure  
Cadmium  
Plomb  
Arsenic  
Sélénium  
Mercure  
Zinc  
Composition amino-acide  
    Arginine  
    Lysine  
    Histidine  
    Phénylalanine  
    Tyrosine  
    Leucine  
    Isoleucine  
    Méthionine  
    Valine  
    Alanine  
    Glycine  
    Proline  
    Acide glutamique  
    Sérine  
    Thréonine  
    Acide aspartique  
    Tryptophane  
    Cystine

Récapitulation des propriétés du produit naturel séché par pulvérisation de l'installation de traitement de la spiruline de Sosa Texcoco

Propriétés physiques

Aspect	:	Poudre fine
Couleur	:	Vert foncé
Odeur et goût	:	Faible, ressemblant aux végétaux marins
Masse volumique apparente:		0,5 g/ml
Dimension des particules :		9 - 25 microns

Composition chimique

	<u>Minimum</u>	<u>Maximum</u>
Humidité		7,0 %
Cendre		9,0 %
Protéines	60,0 %	
Xantophylles	1,40 g/kg de produit	1,80 g/kg de produit
Carotène	1,50 g/kg de produit	1,90 g/kg de produit
Chlorophylle a	6,10 g/kg de produit	7,60 g/kg de produit

Analyse chimique

		<u>Minimum</u>		<u>Maximum</u>	
FIBRE BRUTE				0,9 %	
HUMIDITE				7,0 %	
CENDRE				9,0 %	
Calcium (Ca)	1,045	mg/kg	1,315	mg/kg	
Phosphore (P)	7,617	mg/kg	8,942	mg/kg	
Fer (Fe)	475	mg/kg	580	mg/kg	
Sodium (Na)	275	mg/kg	412	mg/kg	
Chlore (Cl)	4,000	mg/kg	4,400	mg/kg	
Magnésium (Mg)	1,410	mg/kg	1,915	mg/kg	
Manganèse (Mg)	18	mg/kg	25	mg/kg	
Zinc (Zn)	27	mg/kg	39	mg/kg	
Potassium (K)	13,305	mg/kg	15,400	mg/kg	
Divers	36,000	mg/kg	57,000	mg/kg	
TOTAL DES HYDRATES DE CARBONE		13,0 %		16,5 %	
Ramnose		moyenne		9,0 %	
Glucane		moyenne		1,5 %	
Cyclitols phosphorylés		moyenne		2,5 %	
Glucosamine et acide muramique		moyenne		2,0 %	
Glycogène		moyenne		0,5 %	
Acide sialique et autres		moyenne		0,5 %	

	<u>Minimum</u>	<u>Maximum</u>
AZOTE ORGANIQUE TOTAL	10,85 %	13,35 %
AZOTE DES PROTEINES	9,60 %	11,36 %
PROTEINE BRUTE (% N x 6,25)	60,0 %	71,0 %
ACIDES AMINES ESSENTIELS		
Isoleucine	3,69 %	4,13 %
Leucine	5,56 %	5,80 %
Lysine	2,96 %	4,00 %
Méthionine	1,59 %	2,17 %
Phénylalanine	2,77 %	3,95 %
Thréonine	3,18 %	4,17 %
Tryptophane	0,82 %	1,13 %
Valine	4,20 %	6,00 %
ACIDE AMINES NON ESSENTIELS		
Alanine	4,97 %	5,82 %
Arginine	4,46 %	5,98 %
Acide aspartique	5,97 %	6,43 %
Cystine	0,56 %	0,67 %
Acide glutamique	8,29 %	8,94 %
Glycine	3,17 %	3,46 %
Histidine	0,89 %	1,08 %
Proline	2,68 %	2,97 %
Sérine	3,18 %	4,00 %
LYSINE DISPONIBLE	moyenne	85 %
AZOTE DES ACIDES NUCLEIQUES	1,25 %	1,99 %
ACIDE RIBONUCLEIQUE (ARN)		
ARN = % N x 2,18	2,20 %	3,50 %
ACIDE DIOXYRIBONUCLEIQUE (ADN)		
ADN = N x 2,63	0,63 %	1,00 %



		<u>Minimum</u>		<u>Maximum</u>	
TOTAL DES LIPIDES		6,0 %		7,0 %	
ACIDES GRAS		4,9 %		5,7 %	
Laurique (C <sub>12</sub> )	180	mg/kg	229	mg/kg	
Myristique (C <sub>14</sub> )	520	mg/kg	644	mg/kg	
Palmitique (C <sub>16</sub> )	16 500	mg/kg	21 141	mg/kg	
Palmitoléique (C <sub>16</sub> )	1 490	mg/kg	2 035	mg/kg	
Palmitolinoléique (C <sub>16</sub> )	1 750	mg/kg	2 565	mg/kg	
Heptadécanoïque (C <sub>17</sub> )	90	mg/kg	142	mg/kg	
Stéarique (C <sub>18</sub> )		traces	353	mg/kg	
Oléique (C <sub>18</sub> )	1 970	mg/kg	3 009	mg/kg	
Linoléique (C <sub>18</sub> )	10 920	mg/kg	13 784	mg/kg	
γ Linoléique (C <sub>18</sub> )	8 750	mg/kg	11 970	mg/kg	
α Linoléique (C <sub>18</sub> )	160	mg/kg	427	mg/kg	
Divers	7 000	mg/kg	699	mg/kg	
INSAPONIFIABLE		1,1 %		1,3 %	
Stérols	100	mg/kg	325	mg/kg	
Alcools triterpéniques	500	mg/kg	800	mg/kg	
Caroténoïdes	2 900	mg/kg	4 000	mg/kg	
Chlorophylle a	6 100	mg/kg	7 600	mg/kg	
Divers	1 400	mg/kg	150	mg/kg	
3-4 Benzopyrène	2,6	μg/kg	3,6	μg/kg	

		<u>Minimum</u>		<u>Maximum</u>	
STEROLS	100	mg/kg	325	mg/kg	
Cholestérol	60	mg/kg	196	mg/kg	
$\beta$ Sitostérol	30	mg/kg	97	mg/kg	
Dihidro 7 Cholestérol	} 10	mg/kg	32	mg/kg	
Cholestène 7 ol 3					
Stérol stigma					
Divers					
CAROTENOIDES	2 900	mg/kg	4 000	mg/kg	
$\alpha$ Carotène				traces	
$\beta$ Carotène	moyenne		1 700	mg/kg	
XANTHOPHYLLES	moyenne		1 600	mg/kg	
Cryptoxanthine	moyenne		556	mg/kg	
Echinénone	moyenne		439	mg/kg	
Zeaxanthine	moyenne		316	mg/kg	
Lutéine et euglénanone	moyenne		289	mg/kg	
VITAMINES					
Biotine (H)	moyenne		0,4	mg/kg	
Cyanocobalamine (B <sub>12</sub> )	moyenne		2	mg/kg	
d-Ca-Pantothénate	moyenne		11	mg/kg	
Acide folique	moyenne		0,5	mg/kg	
Inositol	moyenne		350	mg/kg	
Acide nicotinique (PP)	moyenne		118	mg/kg	
Pyridoxine (B <sub>6</sub> )	moyenne		3	mg/kg	
Riboflavine (B <sub>2</sub> )	moyenne		40	mg/kg	
Thiamine (B <sub>1</sub> )	moyenne		55	mg/kg	
Tocophérol (E)	moyenne		190	mg/kg	

ANALYSE MICROBIOLOGIQUE TYPE DU PRODUIT A SECHE PAR PULVERISATION  
ET DU PRODUIT NATUREL PASTEURISE

	SPIRULINE		LAIT EN POUFRE	
	VALEUR MAXIMUM	VALEUR MINIMUM	NORMES DU MEXIQUE	NORMES DES ETATS-UNIS
Numération normale des plaques	20 000/g	4 000/g	50 000/g	50 000/g
Champignons	10/g	3/g	20/g	11/g
Levures	10/g	3/g	20/g	11/g
Coliformes	20/g	3/g	20/g	11/g
Salmonelles	Néant	Néant	Néant	Néant
Shigella	Néant	Néant	Néant	Néant
E. Coli entéropathogène	Néant	Néant	Néant	Néant

Valeur nutritive

Taux de rendement en protéines  
de 2,2 à 2,6 (74 - 87 % de celui de la caséine)

Utilisation nette de protéines  
de 53 à 61 % (85 - 92 % de celle de la caséine)

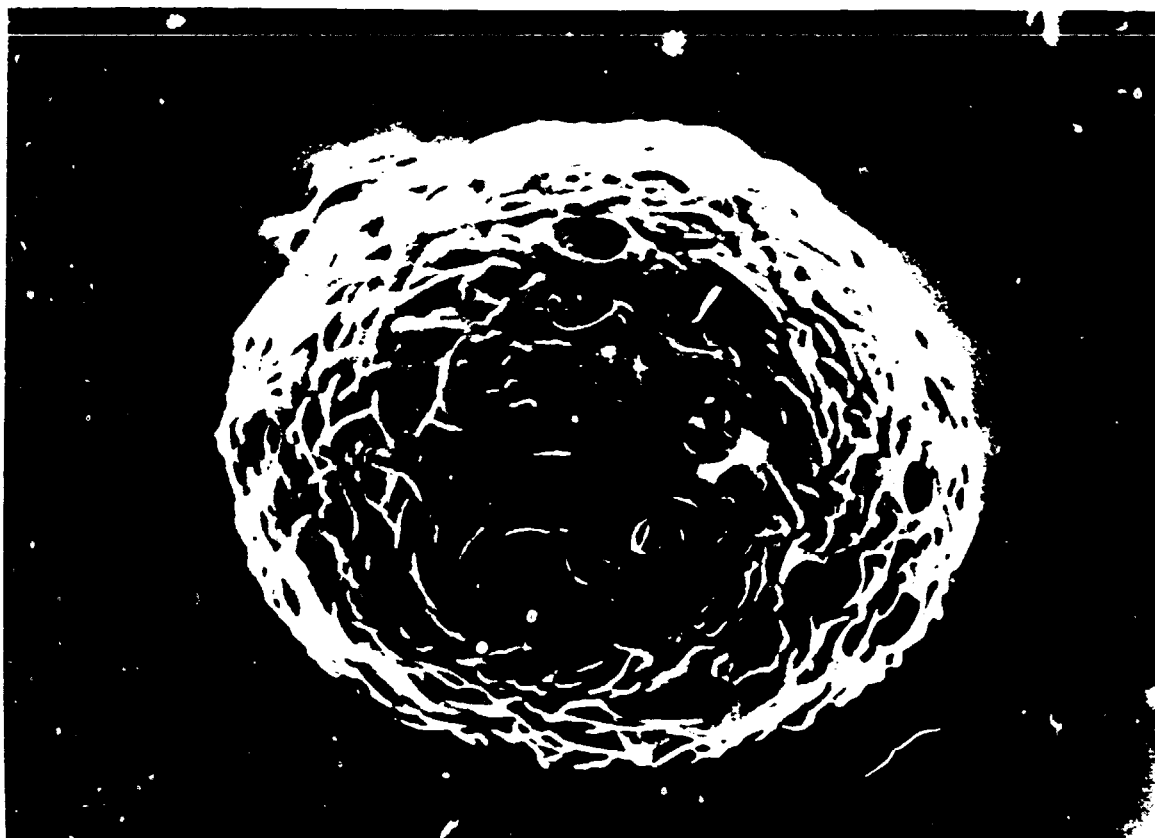
Digestibilité  
de 83 à 84 %

Valeur biologique

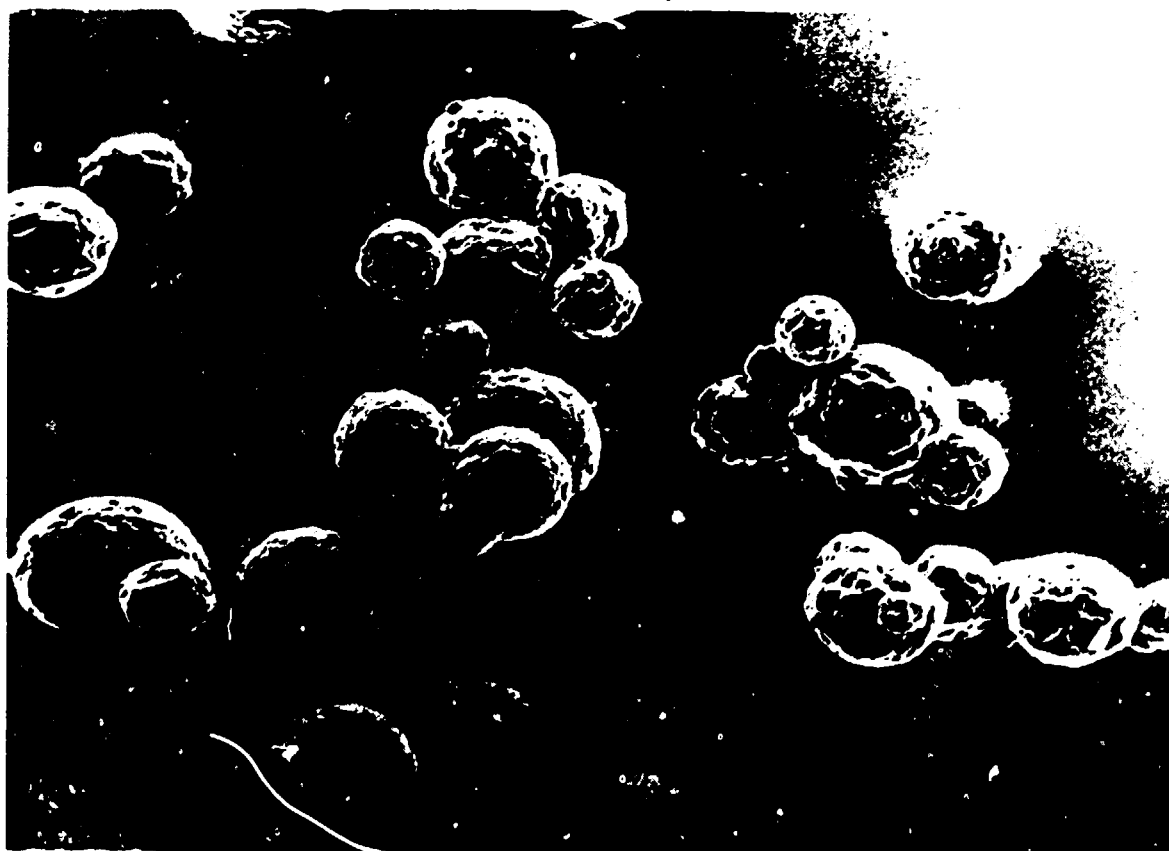
72



PARTICULE DE Poudre GROSSIE 5 400 FOIS



PARTICULE DE POUDRE GROSSIE 510 FOIS



PARTICULE DE POUDRE GROSSIE 105 FOIS

## CONSIDERATIONS A L'ECHELLE MONDIALE ET RECOMMANDATIONS GENERALES

Il y a longtemps qu'on s'est rendu compte que l'agriculture traditionnelle, même avec des rendements améliorés grâce aux techniques modernes, serait impuissante à fournir la totalité des protéines nécessaires à la population rapidement croissante du globe, et qu'il faudrait faire appel à de nouvelles sources de protéines. Parmi ces sources non traditionnelles, les micro-organismes ont particulièrement retenu l'attention : lors d'une réunion tenue en 1968 au Massachusetts Institute of Technology (R. J. Mateles, S. R. Tannenbaum) on a examiné la plus grande partie de l'expérience acquise au sujet des micro-organismes sous le titre de "protéines monocellulaires".

L'Institut français du pétrole a mis au point une méthode de grande culture intensive de spiruline permettant d'atteindre un rendement de 14 g d'algue sèche/m<sup>2</sup>/jour, c'est-à-dire 50 000 kgs à l'hectare par an, ce qui équivaut à quelque 32 000 kgs de protéine sèche par hectare et par an. Ce rendement est certes impressionnant, surtout lorsqu'on le compare à celui de certaines céréales : par exemple le rendement du maïs dans de nombreux pays en développement équivaut à 50 à 400 kgs de protéine par hectare et par récolte. On a dit que "l'on pourrait obtenir la moitié des protéines dont la population totale du globe a besoin en moyenne chaque jour en cultivant des algues sur une superficie égale à celle du comté d'Essex" (J. F. Gordon).

La combinaison de l'activité des algues pour le traitement des eaux usées et leur emploi comme source de protéines présente une extrême importance si l'on considère l'explosion démographique du monde, dont la population, d'après le Fonds des Nations Unies pour les activités en matière de population, atteindra 6,6 milliards d'âmes en l'an 2000, et le fait qu'il y a aujourd'hui 26 villes de 5 millions et plus d'habitants.

Une source de protéines de haute qualité pour l'alimentation animale, provenant d'algues récupérées en traitant des effluents de bassins d'oxydation des déchets, promet d'être particulièrement avantageuse. Contrairement aux autres types de protéines monocellulaires, la protéine des algues n'a pas à rapporter la totalité du coût de production du traitement des déchets ni l'eau récupérée. Les systèmes tels que celui des boues activées exigent une

énergie mécanique considérable pour la fourniture de l'oxygène nécessaire à la décomposition au contact de l'air des matières organiques contenues dans les eaux usées, alors que les bassins d'oxydation utilisent à cet effet l'énergie solaire (R. Moraine, G. Shelef, A. Meydan et A. Levi).

Il vaut la peine de récolter et de traiter les algues qui poussent dans les eaux d'égout lorsque le produit et/ou l'eau récupérés peuvent être vendus avec profit (C. G. Goluke, et W. J. Oswald). En pareil cas, les collectivités auxquelles les prescriptions rigoureuses sur la lutte contre la pollution de l'eau imposent d'entreprendre des traitements tertiaires devraient envisager la production des algues en premier et en dernier ressort dans leurs systèmes d'élimination des déchets.

Voici le calcul théorique des besoins des algues en matière de teneur en P (Mackenthun K. M.) "On a signalé une croissance des algues dans les eaux d'égout à raison de 1 - 2 g/l en laboratoire et de 0,5 g/l en bassins. En conséquence, en supposant des conditions de croissance optimales, et une utilisation maximale des phosphates, on pourrait obtenir au maximum, à partir de 1 kg de P, une tonne d'algues humides en laboratoire ou 250 kg sur le terrain. Si la teneur cellulaire de P dans les algues est de 0,7 %, un kilo de P peut être réparti entre 1 450 kgs d'algues (poids humide). Ceci donne à penser que si l'on veut éviter les nuisances biologiques, la quantité de P ne doit pas dépasser 100 g/l dans l'eau courante et 50 g/litre dans l'eau stagnante".

On peut rapprocher la relation entre éléments nutritifs de l'eau et algues et plantes aquatiques de ce qui se passe dans une installation de traitement des eaux d'égout (Mackenthun, K. M.). L'apport annuel d'azote et de phosphore provenant des eaux usées domestiques par habitant est d'environ 1,9 kg de N et 0,5 kg de P. C'est assez de N pour fertiliser 0,4 ha d'eau lacustre jusqu'à une profondeur de 1,6 m, et assez de P pour fertiliser 2,8 ha de lac jusqu'à la même profondeur, ce qui permettrait la floraison des algues pendant les mois d'été.

Du point de vue mondial, les spirulines de la famille des Nostocales analogues à la Spirulina Geitleri J. de Toni exploitée avec succès par la société Sosa Texcoco au Mexique peuvent également l'être dans les régions ci-dessous où la Spirulina platensis pousse naturellement. On pense généralement que la Spirulina platensis croît surtout dans les eaux fortement alcalines et paraît préférer les climats tropicaux et subtropicaux, où l'on

trouve souvent des pH de 9 à 11. Les quelques indications données plus loin paraissent confirmer cette opinion. D'autre part, W. D. P. Stewart paraît croire que de fortes teneurs en sulfates sont nécessaires pour assurer une croissance intense. Or l'abondance de la spiruline dans le lac Aranguadi, pauvre en sulfate si on le compare au lac Yoan par exemple, pourrait modifier cette appréciation.

La Spirulina platensis est aborigène dans les régions suivantes :

Pays	Région	Auteur et date de la description ou de la découverte	Référence
Ethiopie	Province de Choa Lac Aranguadi	A. Haggblom, nov. 1954	Thomasson K.
	Lac Chiltu 7 23' N 38 27' E	R. B. Wood, juillet	Wood, R. B.
Egypte	Basse Egypte Nazlet el Arab (Sand Island)	D. Simpson, juin 1924	Rich, F.
Rep. dém. du Congo	Kivu, Lac Mougounga (juste au nord du Lac Kivu)	J. Lebrun, nov. 1937	Leonard J. et Compere P.
Rep. d'Afrique du Sud	East-Witwatersrand Brakpan	Allanson, 1960	Welsh, H.
Kenya	Central Island Crater Lake B	Worthington, avril 1931	Rich, F.
Kenya	Central Island Crater Lake C	Worthington, avril 1931	Rich, F.
Kenya	Lac Elmenteita	Jenkin, P., avril 1929 Ross, R. 1953	Ross, R. Ross, R.
Kenya	Lac Losougouta	Gregory, mai 1938	West, W. et West, G. S.
Kenya	Lac Naivasha	P. Jenkin, avril 1929	Ross, R.
Kenya	Lac Nakourou	P. Jenkin, avril 1929	Ross, R.
Kenya	Lac Rodophe Ferguson spit	Worthington, déc. 1931 Worthington, mars 1931 R. Ross	Rich, F. Rich, F. Ross, R.
Tanzanie	Très probablement Lac Natron		
Rép. du Tchad	Massakori (marché)	P. Croac'h, 1939	Dangeard, P.



Pays	Région	Auteur et date de la description ou de la découverte	Référence
Rép. du Tchad	Fort-Lamy (marché)	J. Leonard, déc. 1964 G. Le Guedes, déc. 1968	Leonard, J. et Compere, P.
	Etang à eaux carbonatées	J. Leonard, août et sept. 1964, mai 1965	Leonard, J. et Compere
	Lac Ouna, sous-préfecture de N'gouri	G. le Guedes, juillet 1968	Busson
	Borkou, Faya Largeau	Leonard, J., déc. 1964	Leonard J. et Compere, P.
	Ounianga kebir Lac Djobo	J. Leonard, déc. 1964	Leonard, J. et Compere, P.
	Lac Katam	J. Leonard, Déc. 1964	Leonard, J. et Compere, P.
Zambie	Lac Bangweoulou Boualya Niponda	D. Karding, nov. 1928	Thomasson, K.
Etats-Unis	Del Mar (California) dans les eaux côtières de l'océan Pacifique	Ralph A. Lewin, nov. 1969	Lewin, R. A.
Pérou	Huancavelica Lac Huacachina près d'Ica	K. Thomasson, 1960	Thomasson, K.
Uruguay	Montevideo	J. Arechavaleta, mars 1884	
Ceylan	Lac Beira	Holsinger, 1955	Holsinger, E. C.
Inde	Calcutta	K. Biswas, 1927	Biswas, K.
Pakistan	Lahore	S. Ghose, 1924	Ghose, S. L.
		M. Randhawa, 1936	Randhawa, M. S.
Hongrie	Adasztevel Oroshaz	J. Kiss, 1957	Kiss, J.
URSS	Azerbaïdjan Transcaucasie Koumbasha	Woronichin, 1924	Woronichin

Spirulina Geitleri J. de Toni - Synonymes : Arthrospira maxima

Spirulina maxima Geitleri.

Régions où la Spirulina Geitleri est aborigène

On en connaît et on en a étudié fort peu. Deux sites seulement sont connus à l'heure actuelle :

Etats-Unis, Californie, Oakland, Key Route Power House;  
Mexique, Mexico, Caracol de la Sosa Texcoco S.A.

L'étude de l'exploitation de la spiruline à la Sosa Texcoco a révélé l'existence d'importants débouchés qui peuvent avoir une expansion considérable :

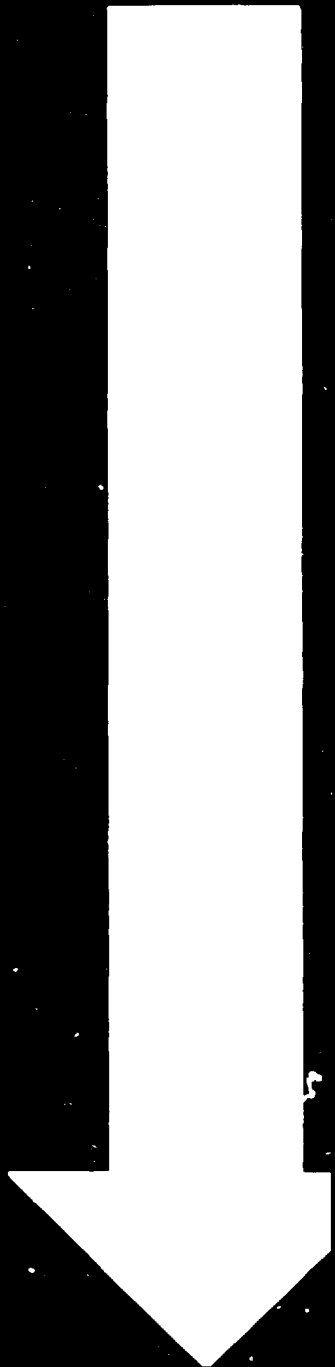
1. L'alimentation humaine, à laquelle la spiruline peut fournir un gros apport de protéines et de vitamines;
2. L'alimentation animale où l'addition de spiruline améliore la valeur nutritive et la pigmentation;
3. Le marché des produits diététiques;
4. L'expansion du produit décoloré et l'utilisation industrielle du pigment sous-produit qui favoriserait la pénétration du marché et augmenterait la valeur marchande des algues;
5. L'exploitation d'un potentiel qu'on peut considérer comme quasiment illimité, à savoir les utilisations médicales (secteur pharmaceutique) que paraissent devoir encourager les récentes recherches japonaises sur les effets bénéfiques de la spiruline dans le traitement de certaines maladies.
6. L'emploi accru des algues pour l'élimination des déchets et la récupération de l'eau au moyen de la seule énergie solaire, ce qui permet de réaliser de considérables économies d'énergie mécanique.

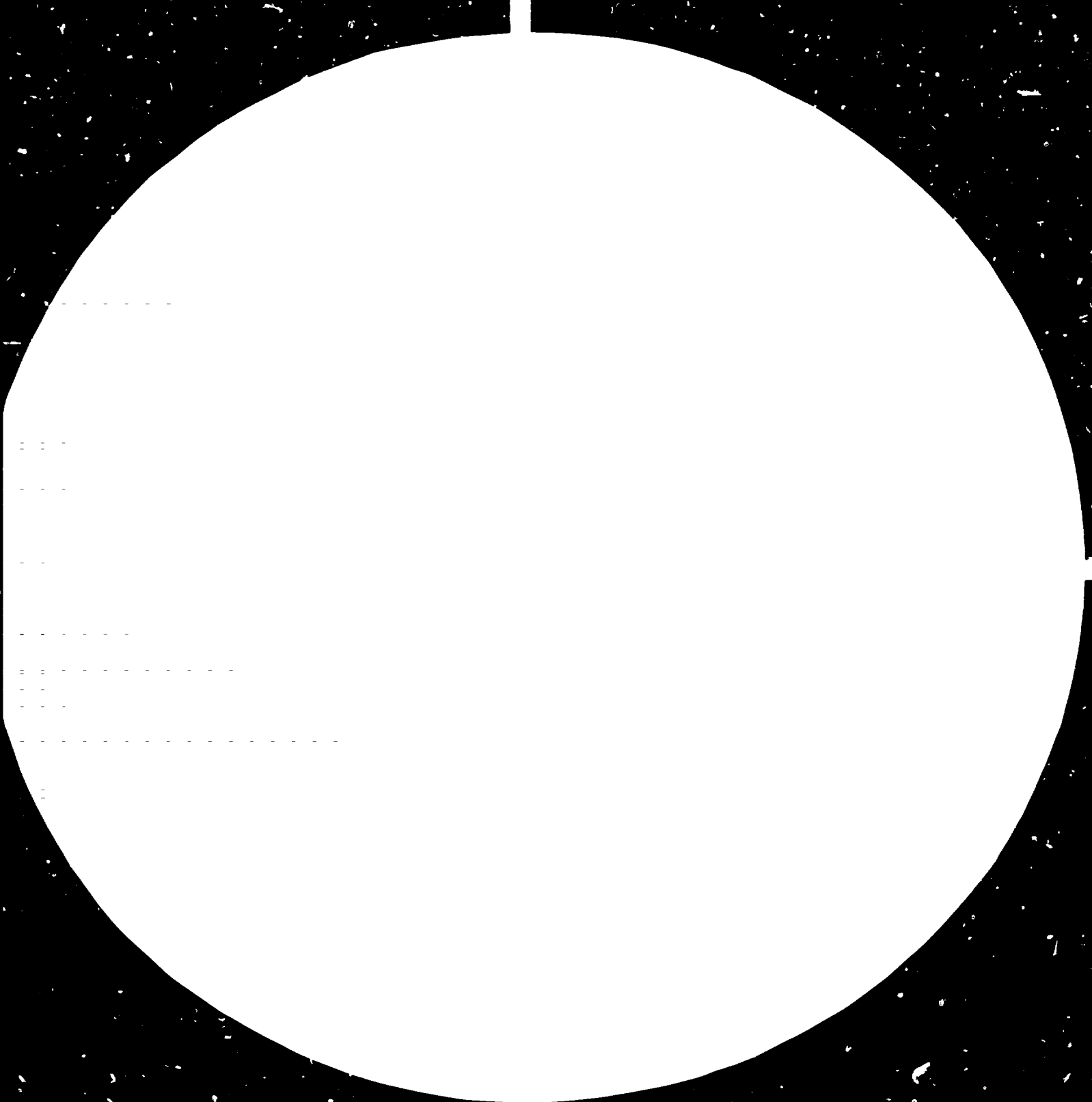
L'une des plus graves difficultés qui se présentent lorsqu'on essaie d'élaborer des produits destinés à contribuer à la solution du problème alimentaire des pays en développement est due aux excès de la technologie. Bien souvent, on a recours à des procédés coûteux pour réaliser des transformations fantaisistes et ordinairement inutiles des produits afin de les conformer aux habitudes et aux préférences occidentales, ce qui fait monter les prix et limite les débouchés.

Principaux composants chimiques de quelques lacs à spiruline - Teneurs en mg/l sauf indication contraire

Lac	Na	K	Ca	CO <sub>3</sub> + HCO <sub>3</sub> (m.eq/l)	Cl	SO <sub>4</sub>	PO <sub>4</sub> -P (µg/l)	Total -P	Références
Elementeita (Kenya)	9 450	381	10	289	5 200	2 200		2 000	(Jenkin, P.M.) et (Talling, J.F., Talling, I.B.)
Rudolf (Kenya)	810	21	6	25	475	67		2 600	(Talling, J.F.) (Talling I.B., Beadle, L.C.)
Nakuru (Kenya)	38 000	1 312	10	1 440	13 000	4 270		12 200	(Jenkin, P.M.) (Talling, J.F., et Talling, I.B.,) (Beadle, L.C.)
Huacachina (Pérou)	38 000			106	3 430			550	(Loeffler, H.) (Thomasson, K.)
Yoa (Tchad)	24 650			484	9 660	151 100			(Leonard, J. et Compere, P.)
Chiltu (Ethiopie)	12 400	670	10	400	846	4 290	1700		(Wood, R.B.)
Aranguadi (Ethiopie)	1 540	316	14	51	770	34	3200		(Baxter, R.M., Prosser, M.V., Talling J.F. et Wood, R.B.) (Baxter R.M., Wood, R.B.) (Prosser M.V., Wood, R.B. et Baxter, R.M.).

RIOL 3







Or la technologie la plus simple suffit pour supprimer les inconvénients réels, et donne les meilleurs résultats car elle permet d'obtenir plus facilement une qualité optimale au plus bas prix. Il faut éviter de se lancer dans des hypothèses fragiles sur les goûts et les aversions de la population en cause.

Il faut organiser une circulation permanente d'information parmi les pays qui se prêtent à la culture des algues afin de les mettre en mesure de coopérer étroitement sur le plan régional. Il faut leur faire connaître les avantages d'un système qui les rendra moins dépendants de sources étrangères pour la satisfaction de leurs besoins en protéines destinées à l'alimentation humaine et animale.

C'est l'ONUDI qui devrait logiquement servir de catalyseur à cette création d'un système de coopération régionale entre pays en développement, les aider à établir un ordre de priorités et un cadre d'élaboration de modules de production conforme aux besoins de chacun d'entre eux. Ce cadre de coopération régionale ne serait pas limité aux pays énumérés dans le présent rapport et devrait aussi embrasser des pays ayant atteint d'autres stades de développement.

La décision d'investir dans une installation d'exploitation des algues n'a pas à être dictée uniquement par des considérations d'intérêt national. En effet, il est démontré que l'entreprise de Sosa Texcoco est une bonne affaire. Le présent rapport est dans la ligne des incitations du groupe de travail spécial de l'ONUDI sur les agro-industries car il offre l'exemple d'une industrie alimentaire. On peut s'appuyer sur lui pour obtenir une vue universelle d'un secteur donné, et il indique les développements possibles. Le cas des algues est exemplaire car, dans la plupart des cas on peut les produire uniquement dans les pays en développement, et leur exploitation peut servir à franchir les barrières commerciales qui les séparent des pays développés.

BIBLIOGRAPHIE

- Sans nom d'auteur, "I.F.P. Algae process". Report to FAO/WHO/UNICEF protein Advisory Group. Institut du pétrole, Rueil-Malmaison, France. Trois volumes. Refs. 18730-1, 2 et 3 (1970).
- Arnon, D. I. (1958). *American Journal Bot.* 25 322-25.
- Avila, E. et M. Cuca (1973). Utilización de la Alga *Spirulina Platensis* como Pigmentante de la Yema de Huevo., Nota de investigación. Inst. de Invest. Pec. (S.A.G.) y Colegio de Postgrad. (E.N.A.).
- Baxter, R. M. et Wood, R. B. (1965). Studies on stratification in the Bishoftu crater lakes in "The application of biological research to the development of East Africa". *J. Appl. Ecol.* 2 (2), 403-417.
- Baxter, R. M., Prosser, M. V., Talling, J. F. et Wood, R. B. (1965). Stratification in tropical African lakes at moderate altitudes (1 500 to 2 000 m). *Limnol. Oceanog.*, 10 (4), 510-520.
- Beadle, L. C. (1932). Scientific results of the Cambridge Expedition to the East African lakes, 1930-31. 4. The waters of some East African lakes in relationship to their fauna and flora. *J. Linn. Soc. Zool.*, 38 157-211.
- Bertram, J. F. Hudson, Ionnis G. Karis, *J. Sci. Fd. Agric.* (1974), 25 759-763.
- Bivas, K. (1927). Aquatic vegetation of Bengal in relation to supply of oxygen to water. *J. Dep. Sci. Calcutta Univ*, 8, 49-56.
- Bongers, L. H. J. (1958). Kinetic aspects of nitrate reduction. *Neth. J. Agr. Sci.* 6, 70-88.
- Boudène, C., Collar, E. et Jenkins, C. (1976). Recherche et dosage de divers toxiques minéraux dans les algues spirulines de différentes origines et évaluation de la toxicité à long terme chez le rat d'un lot d'algues spirulines de provenance mexicaine. *Ann. Nutr. Alim.*, 30, 577-588.
- Bourges, H., Sotomeyer, A., Mendoza, E., Chavez, A. *Nutr. Rep. Int.* (1971) 4 (D, 31).
- Bourreley, P., Les algues bleues ou cyanophycées dans "Les algues d'eau douce algues bleues et rouges". Vol. 3, Edité par N. Boubée et Cie, Paris, Chap. V. 285 (1970).
- Burghes, H. et Coll. (1971). Utilisation of the Algae *Spirulina* as a Protein Source *Nutr. Report. Intern.* (4) (1) 31-43.
- Buchanan B. B. et Arnon, D. I., *Adv. Enz.*, 33, 119 (1970).
- Brown, G. (1974). Decolourization, Purification of *Spirulina* Protein. The Research and Productivity Council, Fredericton, N. B., Canada, UNIDO, DP/MEX/72/002.



- Busson, F., *Spirulina platensis* (Gom.) Geitler et *Spirulina Geitleri*.  
J. de Toni, Cyanophycées alimentaires, Thèse, Marseille (1971).
- Calet, C. (1973). Résumé du Rapport d'activité pour l'année 1972. Colloque  
sur la valeur nutritionnelle des Spirulina, Paris.
- Carter, P. W. et al. (1939). The Ilpatrhames and  
of the algal classes, Proc. Roy. Soc. (London), B. 123, 82-109.
- Chamorro, G. (1974). Ensayo de Interpretación de Resultados en Teratología  
Experimental. Acta Médica, X, 39, pp. 93-101.
- Clément, G. et al., 3rd International Congress of Food Science and  
Technology 1970, Washington, USA.
- Clément, G. et al., Nestlé Res. News 1971, p. 59.
- Clément, G. et Durand-Chastel, H., Alimentos para el Mañana. Primer Simposio  
Mundial de Zonas Aridas. Mexico (1970).
- Clément, G. et al., (1968). A raw food algae, Institut français du pétrole,  
réf. 16/30A.
- Clément, G., Giddey, C., et Menzi, R., Amino Acid Composition and Nutritive  
Value of the Alga *Spirulina Maxima*, J. Sco. Fd Agric., 1967, Vol. 18,  
November.
- David, M., (1963). Les saumures de la vallée de Texcoco (Mexique), Marseille,  
Thèse Pharmacie.
- David, M. C., Santillán, S. et G. Clément (1970). Contamination Problems in  
the Open Air Culture of *Spirulina* (*Arthrospira*), 10th International Microbiology  
Congress, Mexico, D.F.
- Dangeard, D. Sur une algue bleue alimentaire pour l'homme/*Arthrospira*  
*Platensis* (Nordst) Gomont. Act. Soc. Limn. Bordeaux, Extr. Proc. Verb. 91,  
39 (1940).
- Dangeard, P. (1940). Sur une algue bleue alimentaire pour l'homme. Act. Soc.  
Limn. Bordeaux, Extr. Proc. Verb., 91, 39-41.
- Diaz del Castillo, B. Historia Verdadera de la Conquista de la Nueva España.  
Biblioteca Porrúa, Mexico (1955), Vol. 1, p. 279.
- Durand-Chastel, H. (1970). Alimento para el Mañana, 1er. Simp. Mundial de  
Zonas Aridas, Mexico, D.F.
- Durand-Chastel, H. et Clément, G. (1972). The *Spirulina* Algae, food for  
tomorrow 9th Int. Congress of Nutrition, Mexico.
- The Europa Year Book, (1979). A World Survey, Vol. II, Europa Publications  
Ltd., 18 Bedford Square London, WC1B 3 JN.

FAO. Protein Requirements, Nutr. Studies No. 16, Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome (1957).

Fekete, A., D. Riemer et H. L. Motto, Removal of Rhizoclonium from a pond and its relationship to dissolved nutrients (1972). Proc. Northeast, Weed Sci. Soc., 26, 193-6.

Fevrier, C. (1973). Etat d'avancement des travaux sur l'utilisation des algues spirulines dans l'alimentation des porcs. Colloque sur la valeur nutritionnelle des algues spirulines, Paris. Cité dans "The Development of, and Outlook for, Spirulina - A food for tomorrow presented at the International Congress of Food Science and Technology, Madrid, Spain, September 1974.

Fitzhugh (1968). Reproduction Tests in : "Modern Trends in Toxicology, I." E. Boyland and R. Goulding, Editors, Butterworths, London, pp. 75-85.

Galvan, Mo. (1973). Expérimentation clinique avec les spirulines. Colloque sur la valeur nutritionnelle des algues spirulines, Paris. Cité dans "The Development of and Outlook for Spirulina - A Food for tomorrow, presented at International Congress of Food and Science and Technology, Madrid, Spain, September 1974.

Gardner, N. L. (1917). Arthorspira Maxima Setchell et Grander. Univer. Calif. Publs. Bot., 6, 377.

Ghose, S. L. (1922-4). A Systematic and ecological account of a collection of blue-green algae from Lahore and Simla., J. Linn. Soc., Bot., 46, 333-46.

Golueke, C. G. et W. J. Oswald, Harvesting and processing sewage grown algae, J. Water, Pollut, Control Fed., 37(4), 471-98.

González, A. S., Lagunas, D., Hernández, R., Soriano, P. et Torres, G. (1976), Estudio Preliminar ue la contaminación por Bacterias en un Cultivo Seminatural de Spirulina. Salud Publ. de Mexico, V. XVIII, 4.

Gordon, J. F., In Proteins in Human Food (Lawrie, R. A., ed.) Butterworths, London, 1971.

Gordon, J. F., Algal Proteins and the Human Diet., in Protein as Human Food (R. A. Larie Editor), Betterworths, London (1970), p. 328.

Gottlieb et al., (1958). Protection of fungi against polyene antibiotics by sterols. Science 129, 361.

Hall, D. O., et Evans, M. C. W., Nature, 233, 1342 (1969).

Hall, D. O., Rao, K. K., et Cammack, R., Biochemical and Biophysical Research Communications, Vol. 47, No. 4, 1972.

Hills, C., et Nakamura, H., (1978). Food from Sunlight, World Hunger Research Project, University of the Tress Press, Boulder Creek CA 95006.

- Holland Central Institute for Nutrition (1972), Rapport Nr. R 3352. Sub-Chronic (90-day) Toxicity Study with Dried Algae (M<sup>2</sup>) in Albino Rats.
- Holsinger, E. C. (1955). The plankton algae of three Ceylon Lakes - *Hydrobiologia*, 7, 8-24.
- Hudson, B. J. F., Karis, I. G., *J. Sci. Fd. Agric.* (1973), 24, 1541.
- Iijima, N., Medical School, St. Marianna University. Publié par Kosaido Shuppan, 2-23-13, Shiba, Minato-ku, Tokyo Japon (1930). Ed. Naoharu Fujii.
- Jacquet, J. (1976). Microflore des préparations de spirulines. *Ann. Nutr. Alim.*, 29, 589-601.
- Jassey, Y. (1971). Etude compar e des acides nucléiques de deux espèces des spirulines, *C.F. Acad., Sc., Paris*, 273, pp. 1356-2368.
- Jenkin, P. M. (1935). Reports on the Percy Sladen Expedition to some Rift Valley Lakes in Kenya in 1929. VII Summary of the ecological results with special reference to the alkaline lakes. *Ann. Mag. Nat. Hist.*, Ser. 10, 18, 133-181.
- Keresztes-Nagy, S., et Margoliash, E. J., *Biol. Chem.* 241, 5955 (1966).
- Kinsky, S. C., *Antibiotics, mechanism of action* (Gottlieb and Show), Springer, Yorks, N.Y.
- Kiss, J. (1957). A *Spirulina platensis* planococcus halmazairo  s microcystis-jellegu allapota k rd seir l, *Szeg. pedag. F tsk. Evkon.*, 35-65.
- Lysyj, I., Zarembo, J. E. *Analyt. Chem.*, 1958, 30, 429.
- Lampen et al. (1961). Inhibition of algae by nystatl., *J. Bact.*, 82, 247-251.
- Leonard, J. The 1964-65 Belgian Trans-Saharan Expedition. *Nature* 209, 126 (1966).
- Leonard, J. et Compere, P. (1967). *Spirulina platensis* Geitler algue bleue de grande valeur alimentaire par sa richesse en protéines, *Bull. Jard. Bot. Nation. Bel.* pg. 37 Suppl. 1, 1-23.
- Levin, E. Y. et Bloch, K. (1964). Absence of sterols in blue-green algae, *Nature* 202.
- Lewin, R. A., Academic Press (1962). New York and London, *Physiology and Biochemistry of Algae*.
- Lewin, R. A. (1970). Personal communication with Busson and receipt of a strain from a harvest at sea, on the Pacific coast.

- Loeffler, H. (1960). Limnologische Untersuchungen an chilenischen und peruanischen Binnengewässern. 1. Die physikalischen und chemikalischen Verhältnisse. Archiv für Geophysik. 3 (10), 155-245.
- López Gomara, F. Conquista de Méjico, Biblioteca Porrúa, Mexico, p. 348.
- Luna, J. L. (1979). Study in the mineral nutrition of a *Spirulina* culture by nutrients replacement method, Thesis (Biochemical Engineer), IPN, Mexico, D.F.
- Mackenthun, K. M. A review of algae, lakeweeds and nutrients, J. Water Pollut. Control Fed., (1962), 34 1077-85.
- Mackenthun, K. M., Nutrients and their relationship to weed and algal growths. Hyacinth. Control J., (1971), 9(1) 58-61.
- Martinez, N. et al. (1968). Sargonin and chonalgin, new antibiotic substances from marine algae. Antimicrobial Agents and Chemotherapy, p. 68-72.
- Martinez, N. et al. (1978). Separation and characterization of carotenoid pigments of *Spirulina maxima* (en préparation).
- Mateles, R. J. et Tannenbaum, S. R., Single Cell Protein, the MIT Press Cambridge Mass. (1968).
- Plan national de développement industriel du Mexique, 1979-1982. Version abrégée.
- Plan national de développement industriel du Mexique (NIDP) 1978. Nouveau décret d'application.
- Moraine, R., G. Shelef, A. Meydan et A. Levi, (1979). Algal Single Cell Protein from Wastewater Treatment and Renovation Process, Sherman Environmental Engineering Research Center, Technion, Haifa, Israel 32000 John Wiley and Sons. Inc.
- Motolinia, T. de, Memoriales (Doc. Históricos de Méjico). México (1903) Vol. 1, p. 327.
- Nakamura, H. (1978). Ishiyaki Shuppan Co., Ltd. 1-7-ñ0, Honkomagome Bunkyo-Ku, Tokyo, Japon.
- Nicholas, D. J. D. (1959). Metallo-enzymes in nitrate assimilation of plants with special reference to micro-organisms. Symposia Soc. Exptl. Biol. No. 13. 1-23.
- Noemi, G. Martinez Nadal, Communication sur les hydrates de carbone de la *Spirulina Maxima* présentée au Congrès international de chimiothérapie, 28 août 1973, Athènes (Grèce).
- Oser, L., Evaluation of the Safety of New Food Products in Single Cell Protein (R. I. Mateles et S. R. Tannenbaum, editors). The MIT Press, Cambridge, Mass. (1968), p. 153.

Pinta, M. et F. Busson, Note préliminaire sur la composition en éléments, minéraux et oligo-éléments de spirulina platensis (Gom.) Geitler et de Spirulina maxima (Setch et garden Geitler Medecine tropicale) 29, 617 (1969).

Prat et al., (1944). Chlorellin, an antibiotal substance from Chlorella, Science 99, 361.

Prescott, W. H. History of Conquest of Mexico (J. F. Kirk Editor), G. Routledge, London.

Porsser, M. V., Wood, R. B. et Baxter, R. M. (1968). The Bishoftu crater lakes, a bathymetric and chemical study. Arch. Hydrobiol. 65 (3) 309-324.

Quillet, M. (1973). Premières observations sur les substances glucidiques des spirulines, Colloque sur la spiruline, Institut français du pétrole, Paris.

Randhawa, M. S. (1936). Occurrence and distribution of the fresh water algae, Proc. Indian Acad. Sci., 8, 36-45.

Rich, F. (1931). Notes on Arthrospira platensis, Revue algol., 6, 75-9.

Rich, F. (1931). Scientific results of the Cambridge expedition to the Eastern African Lakes (1930). J. linn. soc., Zool. 38, 249-75.

Ross, R. (1955). The algae of the East African great lakes. Proc. int. Ass. Theor. appl. Limnol., 12, 320-6.

Sakai, T. University of Eastern Japan, Publié by Kosaido Shuppan, 2-23-13, Shiba, Minato-ku, Tokyo, Japan, 1980, Ed. Naoharu Fujii.

Sautier, C. et al. (1973). Acceptabilité et utilisation de spirulines chez l'homme, Colloque sur la valeur nutritionnelle des algues spirulines, Paris. Cité dans "The Development of and Outlook for Spirulina - A Food for tomorrow presented at International Congress of Food Science and Technology, Madrid (Espagne), septembre 1974.

Stewart, W. D. P. (1966). "Nitrogen fixation in plants", University of London, Athlone Press, p. 61.

Tagawa, K. et Arnon, D. I., Biochim. Biophys. Acta, 153, 602 (1968).

Takeuchi, T. Medical School, University of Tokyo, Published by Kosaido Shuppan, 2-23-13, Shiba, Minato-ku, Tokyo, Japon 1980, Ed. Naoharu Fujii.

Tallaing J. F. et Talling, I. B. (1965). The chemical composition of African lake waters, Intern. Rev. ges. Hydrobiol. 50 (3), 421-463.

Tanabe, I. Medical Clinic of Denen Chofu, Published by Kosaido Shuppan 2-23-13, Shiba, Minato-ku, Tokyo, Japon, 1980, Ed. Naoharu Fujii

Tanaka, M., Medical School, University of Tokyo, Published by Kosaido Shuppan 2-23-13, Shiba, Minato-ku, Tokyo, Japon, 1980, Ed. Naoharu Fujii.

Telitchenko, M. M., G. V. Tsitsarin et Ye, L. Shirokova, Trace elements and algal "bloom", 1970, Hydrobiol. J., 6(6) 1-6.

Thomasson, H. J. Nature, Lond. (1961), 194, 973.

Thomasson, K. (1960). Nova Acta R. Soc. Scient. Upsal., 17, 3-43.

Thomasson, K. (1969). Ett fall av tropisk vattenblomning, botaniska Notiser, 113, 214-216.

Informations UNESCO, No. 172 - Food for the Future, 1956. Feb. 20.

Welsh, H. (1961). Two new Cyanophytes from the Transvaal, Nova Hedwigia, e, 37-41, Very likely Spirulina platensis.

West, W. et West, G. S. (1896). Algae from central Africa, J. Bot. Lond., 34, 377-84.

Wood, P. B. (1968). The Production of Spirulina in open lakes, Confer. Stockholm 13-15 June 1968.

Woodward, F. N., "The Importance of the Algae", World Research and Composition, Times Rev. Ind. (Sept. and Oct.) 1955, Woodward, F.N. "Creatable Resources : The Development of New Resources by Applied Technology" (pp. 131-5), Research on Fresh Water Algae as Potential Food for Yeast, Marine Algae (Woodward, Dir. Scottish Seaweed Research Assoc.).

Woronichin (1924). In Trudy lenigr. Obshch. Estest. 47, 241.

Yamazaki, Y., Medical School, University of Tokyo, Published by Kosaido Shuppan, 2-23-13, Shiba, Minato-ku, Tokyo, Japon, 1980, Ed. Naoharu Fujii.

PERSONNES VUES PAR B. L. SKOWRONSKI AU SUJET DU PROJET  
UF/MEX/78/048

1. Mr. M. E. Goldenberg, Institut français du pétrole. France.
2. Mr. J. Torrero G, Directeur commercial, Sosa Texcoco, S.A., Mexico.
3. Mr. F. J. Gerfias y Ayala, Directeur des recherches, Banca Somex, Division de chimie de base, Mexico.
4. Mr. R. Huesca V., Directeur de l'exportation, Sosa Texcoco, S.A. Mexico.
5. Mr. H. Kamio Yamamoto, Assistant, Sosa Texcoco, S.A., Mexico.
6. Mr. H. Durand-Chastel, ancien Directeur général, Sosa Texcoco, S.A., Mexico.
7. Mr. G. Chamorro, Dept. de la pharmacie, Ecole nationale de science et de biologie, Mexico.
8. Mr. C. Santillan S., Recherche et développement, Sosa Texcoco, Mexico.
9. Mr. D. Jiménez, Représentant résident du PNUD, Mexico.
10. Mr. F. Fajnzilber, SIDFA, PNUD, Mexico.
11. Mr. A. Faust, ONUDI/JPO, PNUD, Mexico.
12. Mr. C. Bursill, Directeur exécutif, Conseil de recherche et de productivité, Fredericton (Canada).
13. Mr. D. Abbot, Directeur des sciences appliquées, Conseil de recherche et de productivité.
14. Mr. P. J. Silk, Directeur de la chimie, Conseil de recherche et de productivité.
15. Mr. H. L. Drummond, Directeur de l'ingénierie, Conseil de recherche et de productivité.
16. Mr. G. D. Brown, Directeur de la technologie industrielle, Conseil de recherche et de productivité.
17. Ms. M. J. Gould, Microbiologiste, Conseil de recherche et de productivité.
18. Mr. S. M. Lalla, Ingénieur chimiste, Conseil de recherche et de productivité.
19. Mr. P. A. Lewel, Services de gestion, Conseil de recherche et de productivité.
20. Mr. L. Millin, Secrétaire du Conseil des sciences du Canada.

