

Des fermes marines : énergie et nourriture pour demain

Howard A. Wilcox*

Récupérer près de 2 % des radiations solaires diffusées sur le globe terrestre grâce à l'exploitation des océans, tel est l'objectif ambitieux du projet présenté par Howard A. Wilcox. La culture d'une algue géante, pratiquée dans des fermes marines, permettrait à la fois de produire de quoi nourrir humains et animaux et de se procurer une source d'énergie à bon marché, dans la mesure où on parviendrait à transformer cette production d'algues en méthane. Projet pour demain ou après-demain ? Les recherches sont prévues en tous cas jusqu'en 1990.

Le monde d'aujourd'hui devra bientôt faire face à une pénurie aussi prévisible qu'inévitable, de terres cultivables, d'engrais, de carburants liquides et de gaz naturel. Scientifiquement, bien sûr, il reste toujours possible de produire du méthane (gaz naturel synthétique) ou des carburants artificiels en petites quantités à partir d'à peu près n'importe quelle source d'énergie. Il est aussi possible de faire pousser des plantes sur des petites surfaces grâce à la lumière artificielle provenant du nucléaire ou d'autres sources d'énergie. Mais si l'on passe en revue toutes les formes d'énergie connues à ce jour - charbon, schiste bitumineux, géothermie, énergies solaires et nucléaires, on s'aperçoit que le soleil constitue probablement la meilleure source d'énergie non polluante pour fournir la nourriture et les autres produits dont nous aurons besoin au XXI^e siècle.

Les océans couvrant 71 % de la surface du globe, la plus grande partie de cette énergie solaire est absorbée par eux. C'est donc là qu'il faut la rechercher si on veut recueillir le maximum de l'énergie solaire terrestre. Un examen des diverses méthodes qui permettraient de récupérer cette énergie sous une forme utile à l'humanité fait apparaître les « fermes marines » comme l'une des directions les plus prometteuses. En effet, en résumé, les fermes marines permettent d'obtenir un taux de récupération relativement haut des radiations solaires, (près de 2 %) diffusées sur la surface du globe. Les plantes marines engrangent automatiquement cette énergie sous diverses formes alimentaires ou de composés chimiques ; de plus cette végétation peut être transformée en l'une des sources d'énergie à grande échelle les plus économiques. Ces perspectives prometteuses ont servi de base au lancement d'un projet à long terme, soutenu à ses débuts par l'American Gas Association (AGA) et par le gouvernement américain (1) et aujourd'hui par l'ERDA (2). Sont décrits ici le programme de ce projet et les résultats déjà acquis.

Le premier dessin montre ce que pourrait être demain une grande ferme marine. Une grande colonne centrale de soutien flotte verticalement, comme le ferait une bouteille géante. Autour d'elle s'étale un réseau com-

posé de lignes plastiques, sur lesquelles poussent des végétaux qui profitent de la lumière pénétrant à travers la surface de l'eau. Cette colonne reste stable, malgré les vagues, dans la mesure où les piliers qui émergent sont relativement courts : aussi l'ensemble de la structure bouge-t-il peu au passage d'une grosse vague.

Une canalisation qui part de la colonne centrale et s'enfonce dans l'océan jusqu'à 500 ou 1 000 pieds (3), apporte des profondeurs de l'eau froide et chargée de composants riches. La pompe qui sert à remonter cette eau est analogue à celle qui était utilisée sur les évier y a 50 ans, mais ici un flotteur remonte et redescend au gré des vagues. L'énergie requise pour actionner la pompe reste faible - de l'ordre de moins de 5 CV par acre (4) de culture marine.

On projette aussi d'utiliser l'énergie des vagues pour faire fonctionner ces pompes de remontée, car celle-ci est pratiquement inépuisable et elle représente une puissance en moyenne 100 fois supérieure à l'énergie nécessaire. Cette énergie marée-motrice est un dérivé de l'énergie solaire, qui agit sur le vent, lui-même à l'origine des vagues.

Le dessin no 1, montre aussi les canalisations immergées qui rayonnent à partir de la colonne centrale. Elles jouent un double rôle : elles portent les lignes plastiques qui servent de support aux algues et elles font circuler à partir de la plateforme centrale les eaux remontées, riches en éléments nutritifs, vers les points les plus éloignés de cette ferme. Les algues sont censées pousser rapidement ; elles « dévorent » les radiations solaires, l'oxyde de carbone dissous dans les eaux marines, le nitrate, le phosphate et autres éléments que l'on trouve partout dans l'océan au dessous de la première couche d'eau de surface. Elles devraient même mieux pousser dans une ferme de ce type, que dans les secteurs naturels au large des côtes du Pérou ou la Californie. Les profondeurs de l'Océan sont riches en éléments nutritifs déjà équilibrés ; aussi cette remontée artificielle devrait-elle suffire à fournir tous les engrais nécessaires à cette forme de culture.

Une algue géante de Californie

Le premier type d'algue choisi comme échantillon pour cette culture marine est la « *Macrocystis pyrofera* ». A la suite d'autres recherches menées ces dernières années, on a déjà répertorié les caractéristiques et les qualités de cette algue géante de Californie : elle pousse très rapidement, elle se prête bien à une récolte industrielle utilisant de gros navires et à une transformation en produits chimiques intéressants grâce à un traitement industriel à grande échelle. On peut aussi la cultiver et la replanter en énormes quantités, selon les procédés de culture artificielle développés par le California Institute of Technology (5).

Une forêt d'algues naturelles entretient une masse de poissons, d'oursins, de coquillages et de divers petits crustacés. On se propose aussi de récolter ces poissons et autres crus-

tacés intéressants, ceci parallèlement aux algues, dans la mesure où cette nourriture destinée aux humains ou aux animaux constituerait un élément économique important dans la production de ces fermes marines.

Les rameaux de cette algue californienne sont constamment régénérés à travers la base permanente de la plante et ils poussent de 30 à 60 cm par jour, pour former un tapis épais à la surface de l'eau. Si on ne les récolte pas, ces pieds meurent au bout de quelques mois, pour être aussitôt remplacés par une nouvelle pousse. Périodiquement moissonnés, ces pieds repoussent aussitôt pour reformer ce tapis.

Voici comment opère un navire pour récolter ces algues, par exemple un navire de la compagnie Kelco de San Diego, l'une des plus actives dans le secteur de l'industrie des algues, en Californie du Sud.

Le bateau se fraie à reculons une voie à travers le tapis d'algues, tandis qu'une tondeuse placée à la poupe fauche les rameaux à 1,20 m environ de la surface ; un système de ramassage par courroies et par râteaux permet ensuite de charger la récolte à bord et de la stocker dans la cale. Chaque bateau contient de 400 à 500 tonnes d'algues, et la société emploie trois navires, ce qui signifie un total d'environ 1 000 sorties par an.

Ce projet prévoit plusieurs méthodes pour replanter de grandes quantités d'algues, à la fois rapidement et à un faible coût. On a pu démontrer que si l'on plonge les lamelles de reproduction de cette algue (les sporophytes) dans de l'eau très froide, on active l'émission de ces spores (ou cellules reproductrices), susceptibles alors de se fixer sur n'importe quel support adéquat pour y commencer leur croissance - support qui dans le cas des fermes marines serait les lignes prévues. Leur croissance peut être aussi activée en les plaçant pendant plusieurs semaines dans un bac où coule de l'eau de mer avec un débit rapide. Une fois le processus achevé, cette ligne est transportée par bateau à la ferme marine ; des plongeurs la fixent alors sur le site et des millions de pieds se trouvent alors « plantés » en une seule opération.

40 ares d'océan pour nourrir six personnes

Prenons comme base les prévisions relativement prudentes effectuées à partir du rythme de croissance des algues dans diverses parties du monde, dans des conditions naturelles et de ce fait, non optimales. On en déduit que les fermes marines pourront à l'avenir récupérer près de 2 % de l'énergie solaire diffusée sur la surface d'une récolte de la végétation. Cet apport d'énergie se monte globalement à 20 milliards de BTU

*Directeur du Projet « Ocean Farm ». Naval Undersea Center. San Diego, États-Unis.

(1) La Marine américaine et la National Science Foundation (NSF)

(2) Energy Research and Development Association (USA)

(3) 150 à 300 mètres.

(4) 1 acre = 40 ares.

(5) Sous la direction de Weelers S. North, Professeur et responsable scientifique du projet.

par acre et par an, la récolte annuelle d'algues devrait représenter près de 400 millions de BTU par acre.

Si l'on pouvait parvenir à une conversion de l'énergie contenue dans cette végétation en aliments humains, avec un taux de conversion de seulement 4 %, on obtiendrait un apport énergétique alimentaire de 16 millions de BTU par acre et par an. L'exploitation d'un acre d'océan suffirait alors à satisfaire les besoins alimentaires annuels de cinq à six personnes.

Pour récupérer les 96 % restants de cette énergie contenue dans la végétation de façon à les convertir en SNG, il semble que la méthode la plus économique soit la conversion anaérobie ou bioconversion. Une estimation prudente de l'efficacité globale de ces procédés de conversion indique une récupération d'énergie de l'ordre de 40 %. Dans cette hypothèse, l'apport d'énergie que pourrait fournir ces fermes marines se monterait approximativement à 160 millions de BTU par acre et par an (c'est à dire près de 160 000 m³ d'énergie par acre) en dehors de l'énergie alimentaire déjà fournie. Dans quelle mesure l'océan se prête-t-il à une exploitation en fermes marines ? Les océans couvrent quelques 70.8 % de la surface terrestre et plus de la moitié de leur surface se trouve dans la zone très ensoleillée qui s'étend entre 30° de latitude nord et 30° de latitude sud. Leur superficie totale couvre 89 milliards d'acres. En admettant que la moitié soit cultivable, la production annuelle de ressources énergétiques et alimentaires suffirait aux besoins de 20 à 200 milliards d'individus, selon le niveau moyen de consommation par tête sur lequel on se base.

En prenant les mêmes bases numériques, on peut donc affirmer que la consommation actuelle des États-Unis à la fois en termes de ressources alimentaires et de gaz naturel pourrait être couverte par des fermes marines qui s'étendraient sur 220.000 milles. Ceci représente un carré d'environ 470 milles de côte (6) ou la distance de San Francisco à San Diego, en Californie.

Où en est aujourd'hui le projet ?

La première ferme marine expérimentale se situe près de l'île de San Clemente, à 60 milles environ de la côte californienne, à l'Ouest de San Diego.

Les neuf mois d'activité de cette ferme ont permis de constater certains points importants :

- On peut très bien replanter des algues dans un environnement marin naturel.
- Ces algues « transplantées » ont montré un taux de survie tout à fait satisfaisant, même dans un environnement marin naturel.
- Les pieds se sont reproduits très rapidement, sur les lignes et les bouées constituant le réseau sous-marin de la ferme.
- Cette croissance s'est effectuée au rythme prévu, étant donné la nature des éléments nutritifs analysés dans les eaux environnantes.

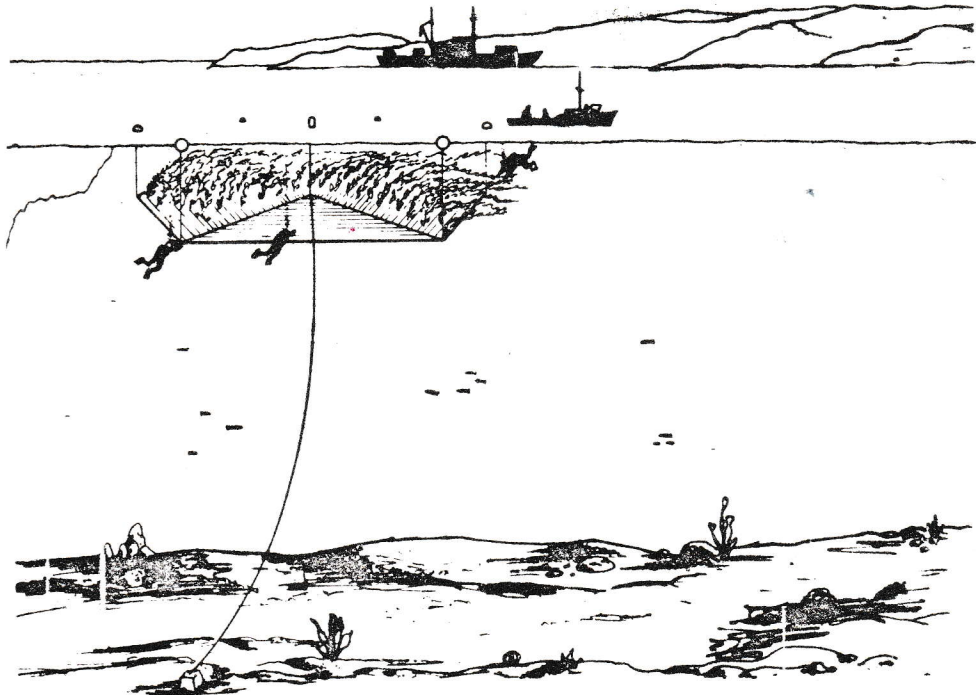
En revanche, certaines difficultés ont été mises à jour. Ainsi le trafic de bateaux a posé plus de problèmes de contrôle qu'on ne l'aurait imaginé. D'autre part, les poissons escomptés autour de ces plantations ne sont pas venus, probablement parce qu'ils n'ont pu affronter les vagues d'une force inattendue qui battaient le site de San Clemente. Enfin, l'océan n'était, sur ce site, ni assez profond ni assez calme pour permettre des

expériences de remontée d'eau à partir des couches inférieures du milieu marin, ou pour faire des essais à l'aide d'engrais artificiels.

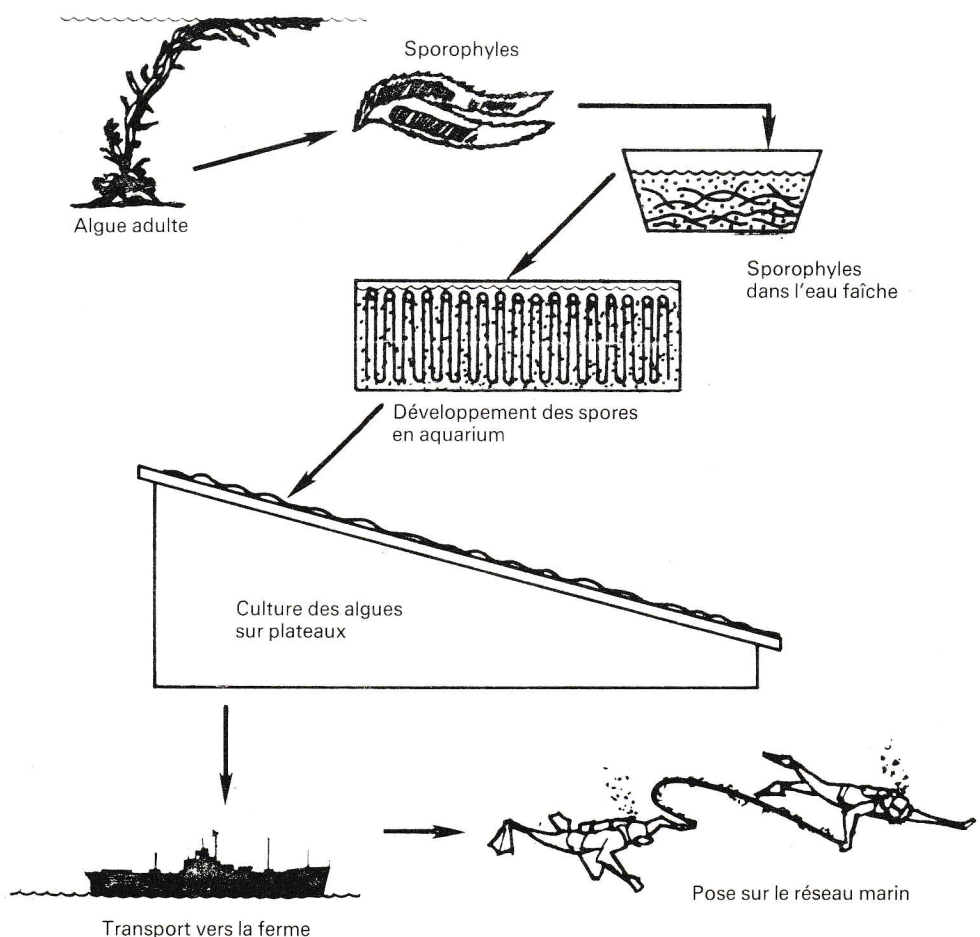
Après l'arrêt de cette expérience, le professeur North a implanté une autre ferme d'environ 10 ares près de Corona del Mar, toujours en Californie. La croissance des algues y varie selon la quantité d'éléments nutritifs fournis. On a pu aussi démontrer que les phases gamétophyte et début du sporophyte du cycle de vie des algues sont stimulées de façon satisfaisante par l'immersion dans les

eaux riches en éléments nutritifs qui baignent la côte californienne.

Vient de s'achever une expérience portant sur le placement d'une algue adulte, ayant atteint sa taille définitive, dans un large cône où circule un courant d'eau puisé à près de 300 m de profondeur. Malgré quelques déboires techniques, l'objectif premier, qui était la recherche d'éventuels éléments toxiques dans cette eau puisée au fond de la mer, a été rempli de façon satisfaisante, dans la mesure où l'on n'a trouvé aucune trace de produit toxique.



Méthode de culture des algues



La nourriture = une forme d'énergie rare et chère

Est-il vraiment utile de vouloir convertir des algues en nourriture ? On peut avancer plusieurs raisons pour justifier un projet de ce type ; mais la plus frappante, en tout cas s'il s'agit de convaincre un industriel, reste celle-ci : il suffit d'un tout petit pourcentage d'une récolte d'algues pour couvrir plus de la moitié du coût total de sa transformation en aliments. Autrement dit, le coût de l'énergie ainsi produite serait par conséquent réduit de moitié par rapport aux autres sources possibles.

Ainsi dans le cas d'un steak fondant achevé chez le boucher au prix de 8 dollars le kilo, l'énergie fournie au corps humain par ce steak coûte plus de 570 dollars par million de BTU, ou 2 dollars par KWH (7). Mais si l'on pouvait tirer la même énergie du gaz naturel (au prix de revient qu'il avait en 1975), on nourrirait son corps pendant une année entière pour l'équivalent de 2 à 4 dollars. En d'autres termes la nourriture représente une forme d'énergie à la fois rare et chère. Aussi on peut en déduire que si l'on dévoue une petite part des algues récoltées aux besoins alimentaires, le reste, c'est à dire la majeure partie, peut être utilisée autrement et aider par conséquent au financement de la presque totalité du système proposé. Pourquoi alors ne pas convertir toute la récolte en nourriture et effectuer ainsi une opération encore plus rentable ? Le problème est que le marché des produits alimentaires ne pourrait faire face à un tel afflux de produits nouveaux. Aux États-Unis seulement 1 % du total de l'énergie consommée l'est sous forme alimentaire. Aussi peut-on raisonnablement en déduire que seul un faible pourcentage de la production d'algues serait consacré au secteur alimentaire, malgré l'attrait financier que représenterait le fait d'y consacrer la totalité de la production.

Selon une recherche menée par l'Université de Californie, les moutons sont susceptibles de manger et de digérer des algues séchées, jusqu'à concurrence de 40 % de leur ration journalière. Ce résultat semblerait aussi valable dans le cas du bétail à cornes, dans la mesure où les systèmes digestifs ont des réactions équivalentes à celles du mouton. On sait de plus que la larve de la mouche du varech se nourrit naturellement d'algues échouées sur le rivage ; aussi des tests sont-ils menés actuellement pour déterminer si ces larves pourraient constituer une source de protéines adéquates pour les poulets. D'autres expériences de nourriture à base d'algues portent aussi sur une variété de perche.

Les oursins sont devenus une spécialité du marché japonais à l'exportation ; ils se nourrissent d'algues fraîches. Rappelons que cet animal, important d'un point de vue alimentaire, a été tenu pour responsable de la disparition de la plupart des plus beaux bancs d'algues au large de la Californie. Selon des études menées par les laboratoires de l'Université de San Diego, l'abalone, crustacé très recherché aux États-Unis, se développe beaucoup plus vite qu'au naturel quand il est exclusivement nourri d'algues fraîches.

On a analysé la composition de ces algues :

(6) un mille = 1,6 km.

(7) soit 40 F le kilo, 2 800 F/million de BTU et 10 F le kwh.

(8) Par le Western Regional Research Center of the Department of Agriculture.

leur part de protéines va de 6 à 12 %. Quoique relativement faible par rapport au soja, par exemple, cette teneur en protéine reste largement suffisante pour justifier que seuls 10 % de la production d'algues soient consacrés au secteur alimentaire. Ces 10 % sont le minimum nécessaire à l'optimisation économique de l'ensemble de la production.

Convertir des algues en méthane ?

L'objectif consiste à trouver une méthode de conversion des algues en méthane et en autres sous-produits utiles. Cette méthode repose sur l'utilisation de basses températures et des techniques de conversion anaérobie, de façon à éviter des coûts de transformation trop élevés et des pertes massives d'énergie. L'IGT (Institute of Gas Technology) et le NUC (Centre Naval sous-marin de San Diego) sont parvenus à produire du méthane par conversion anaérobie d'algues brutes broyées. La faisabilité technique de cette méthode est donc prouvée, mais sa rentabilité économique risque encore de poser des problèmes.

L'estomac du mouton, le système digestif

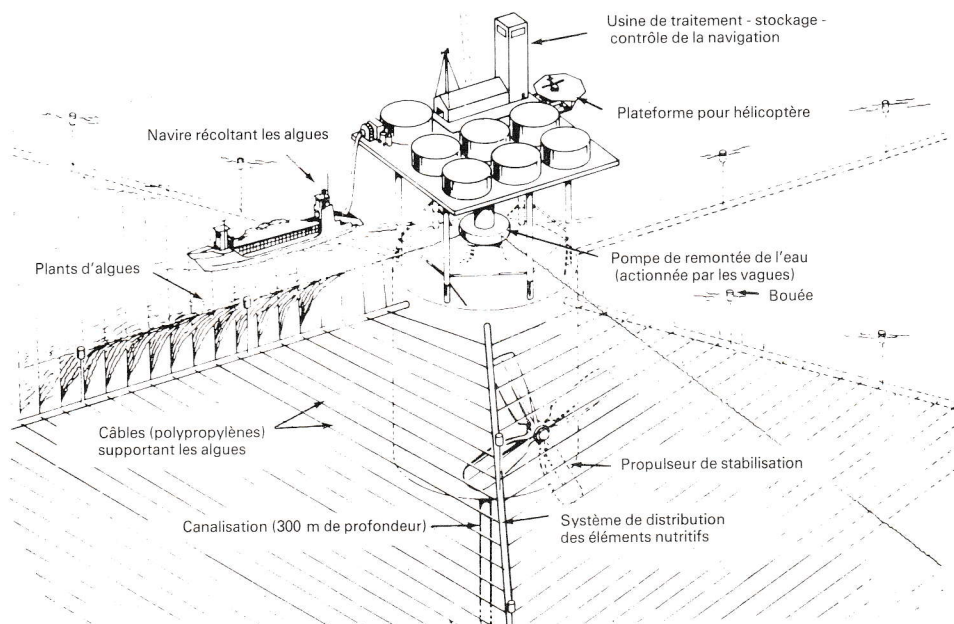
des abalones, des tortues marines, et autres consommateurs d'algues, offrent un terrain propice aux bactéries anaérobies susceptibles de convertir les algues en méthane : aussi cherche-t-on au NUC à tester l'efficacité de ces bactéries. L'accent est mis sur les bactéries « thermophiles », dont l'efficacité termes de conversion est de l'ordre de 50 % pour 3 à 4 jours de « digestion », capacité qui contribuerait à améliorer les chances de la conversion des algues en méthane.

On est parvenu aussi (8) à déshumidifier les algues une fois broyées, avec plus de succès qu'il n'était prévu, en utilisant un bain d'acide suivi d'un passage dans une presse Contipac. L'énergie nécessaire lors de cette phase importante reste minime. On s'est préoccupé d'autre part d'assurer une bonne préparation de la récolte de façon à être sûrs de pouvoir toujours disposer d'algues fraîches et de qualité uniforme.

Un contrat vient d'être passé avec l'Institute of Gas Technology, pour poursuivre les recherches portant sur les méthodes de production industrielle du méthane.

H. W.

Ferme marine pour la production de nourriture et d'énergie Organisation générale



L'état actuel du projet

La première phase du projet qui comprenait l'évaluation technique et les études de faisabilité économique à long terme de ce procédé, est à moitié achevée. Cette phase, planifiée au moindre coût, devrait se terminer fin 1978 ; son budget aura été de près de 4 millions de dollars (1). Si cette première partie du programme se révèle réussie, et si le soutien scientifique et financier se maintient, débutera une seconde phase, qui a pour objectif une première expérimentation de ce procédé à l'aide de deux surfaces de 400 hectares, l'une dans l'Océan Atlantique, l'autre dans le Pacifique. Cette seconde partie du programme durerait de trois à cinq ans, pour un coût approximatif de 50 millions de dollars.

La troisième phase serait consacrée à

la diffusion du projet sur le plan commercial, qui prendrait aussi de trois à cinq ans pour un montant de deux milliards de dollars.

Vers 1985 ou 1990, on aurait donc une ferme marine dont la production serait commercialisée et qui s'étendrait sur mille hectares d'océan. Elle produirait chaque année 1.6 trillion de BTU en énergie alimentaire, plus 16 trillions de BTU en termes de SNG. La phase No 1 se décompose en quatre grands secteurs :

- Productions et récolte d'algues et de poissons
- Conversion de cette récolte en méthane et autres produits.
- Production de nourriture destinée aux humains et aux animaux
- Production de nourriture et analyse économique.

(1) Tous ces ordres de grandeur sont exprimés en dollars constants de 1974.