

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE CHIMIQUE DE LA PHANÉROGAME MARINE POSIDONIA OCEANICA DELILE : COMPOSITION EN CENDRES, CARBONE, HYDROGÈNE, AZOTE, PROTÉINES ET ACIDES AMINÉS EN MILIEU EXEMPT DE POLLUTION ET EN FONCTION DE LA PROFONDEUR DANS LE PARC NATIONAL DE PORT-CROS

H. AUGIER (1) et M. SANTIMONE (2)

Résumé : Les expériences ont permis de mettre en évidence des différences parfois importantes dans la teneur en cendres, en carbone et en hydrogène des racines, des rhizomes et des feuilles de la phanérogame marine *Posidonia oceanica*. Elles ont également révélé des concentrations croissantes en azote total, en azote protéinique et en protéines successivement dans les racines, les rhizomes et les feuilles. Des différences significatives sont aussi apparues dans la composition en acides aminés protéiniques des racines, des rhizomes et des feuilles, ces dernières présentant des taux trois fois plus élevés que les deux autres organes.

En ce qui concerne les acides aminés libres, 6 ont été identifiés et dosés dans les rhizomes, 11 dans les racines et 13 dans les feuilles. Les rhizomes se caractérisent par des teneurs relativement élevées en arginine ; les feuilles et les racines par des quantités importantes en acide glutamique et en acide aspartique. Les trois organes ont, par contre, en commun des quantités relativement élevées en alanine.

Les expériences ont également révélé que la composition chimique des feuilles de posidonies varie en fonction de la profondeur ; les taux les plus élevés étant généralement observés à la profondeur de — 20 m pour tous les composés analysés à l'exception des cendres totales.

(1) Laboratoire de Biologie Végétale Marine, U.E.R. des Sciences de la Mer et de l'Environnement, Centre Universitaire de Luminy, 13288 MARSEILLE CEDEX 2.

(2) Laboratoire de Biologie Marine, Faculté des Sciences de Saint-Jérôme, 13397 MARSEILLE CEDEX 4.

Il a enfin été possible de donner une estimation de la valeur protéinique des feuilles de posidonies et de la comparer avec celles de l'œuf de poule, d'échantillons d'autres phanérogames marines, d'algues, d'extraits d'algues à usage agricole et de végétaux terrestres couramment utilisés dans l'alimentation du bétail, comme la luzerne et le foin.

Summary: Important differences have been found in dry ash, carbon and hydrogen content in the roots, rhizomes and leaves respectively of the marine phanerogam *Posidonia oceanica* Delile. The levels of nitrogen, proteinic nitrogen and proteins increase progressively in the roots, rhizomes and leaves, and there are also significant differences in the proteinic amino-acid composition of the different parts of the plant, the leaves having levels three times those of the roots or rhizomes.

The free amino-acids in the plant have been identified and their levels measured, 6 have been found in the rhizomes, 11 in the roots and 13 in the leaves. The rhizomes have relatively high levels of arginin, and the roots and leaves of glutamic and aspartic acids. All three parts of the plant contain significant quantities of alanine.

Experiments have also revealed that the chemical composition of the leaves of *Posidonia* change with depth; the highest level being generally found at — 20 m depth for all compounds except the dry ash.

An estimate has been given of the proteinic value of the leaves of *Posidonia* and this is compared with those of hen's eggs, samples of other marine phanerogams algae, extracts of algae used in agriculture, and terrestrial plants such as lucerne and hay currently used as food for cattle.

1. — INTRODUCTION

Bien que les herbiers, prairies et pelouses de phanérogames marines recouvrent d'immenses surfaces dans les parties peu profondes du plateau continental des mers et des océans, ces végétaux ne sont pratiquement pas utilisés et on peut se demander si certains d'entre-eux ne représentent pas une source potentielle directement exploitable par l'homme dans notre économie moderne à la recherche systématique de matières premières nouvelles. Aux U.S.A., des recherches approfondies ont été entreprises pour évaluer l'intérêt de l'exploitation et de la commercialisation éventuelle de la « Turtle Grass », *Thalassia testudinum* (BAUERSFELD *et al.*, 1969). Sur les côtes françaises existent également plusieurs espèces de phanérogames marines non exploitées et encore mal connues au point de vue biochimique. Le retard de nos connaissances à ce sujet provient en grande partie du manque d'enthousiasme des organismes susceptibles de financer ce type de recherches en France, malgré l'intérêt évident qui s'y rattache.

Notre objectif n'est certainement pas de préconiser une utilisation alimentaire directe de ces végétaux par l'homme face à la concurrence des plantes terrestres plus facilement exploitables et qui font, en outre, partie de nos habitudes alimentaires. Il paraît, par contre, moins utopique d'évaluer la possibilité d'utiliser certaines espèces marines dans les compostages, la fabrication de fertilisants naturels, la supplémentation alimentaire des animaux d'élevage et plus particulièrement dans le domaine de l'aquaculture. L'expérience acquise traditionnellement par des pays comme la Sicile pour utiliser comme engrais les feuilles de posidonies accumulées sur la grève (MOLINIER *et al.*, 1966), les tentatives

réalisées pendant la guerre avec les posidonies pour rechercher un palliatif à la carence des plantes fourragères pour la nutrition du bétail (POTIER, 1929), et les essais fructueux entrepris dans le domaine de l'aquaculture avec les genres *Thalassia* et *Ruppia* (LAHAYE, 1976) représentent un encouragement à de telles utilisations.

Néanmoins, face à l'exceptionnelle importance des herbiers de phanérogames marines dans la biologie, l'écologie et l'économie des fonds marins, l'étude de ces végétaux ne doit pas se limiter à cet aspect purement utilitaire des recherches. C'est la raison pour laquelle nous avons défini précédemment (AUGIER *et al.*, 1977 a) un programme général de recherches sur les phanérogames marines méditerranéennes en mettant en relief l'intérêt de l'étude physiologique et biochimique de ces végétaux dans les domaines aussi divers que la biologie, la biocénologie, l'écophysiologie et la pollution. L'étude de la composition en cendres, carbone, hydrogène, azote, protéines et acides aminés de *Posidonia oceanica* constitue le onzième volet de cette série de recherches (AUGIER *et al.*, 1976 a et b, 1977 a, b, c et d, 1978 a et b, AUGIER et MAUDINAS, 1977 et 1979) et répond à un certain nombre des préoccupations développées ci-dessus dans le domaine de la recherche appliquée.

Il convient d'ajouter que les échantillons analysés ont été prélevés dans le Parc National de Port-Cros, dans une zone de référence offrant la garantie d'une eau exempte de pollution. Une étude réalisée antérieurement avec la cymodocée (*Cymodocea nodosa*) a, en effet, montré que la pollution pouvait engendrer une modification de la composition chimique des échantillons analysés. (AUGIER *et al.*, 1977 a).

2. — METHODE

2.1. — Récolte et préparation des échantillons.

Le prélèvement des posidonies est réalisé en plongée, à l'aide du scaphandre autonome (1) dans la partie la plus homogène et la plus caractéristique de la biocénose à *Posidonia oceanica* et à trois profondeurs différentes : 10, 20 et 30 mètres. Les plantes sont prélevées entières et avec grand soin pour les garder vivantes jusqu'au laboratoire.

Le transport s'effectue dans des récipients en polyéthylène de 30 litres, remplis d'eau de mer prélevée sur place. Au laboratoire, les échantillons sont triés, mesurés et débarrassés des épiphytes s'il y a lieu. Les feuilles, les rhizomes et les racines sont isolés à l'aide de ciseaux et réunis en trois lots différents qui sont immédiatement lyophilisés puis micropulvérisés selon une technique précédemment décrite (AUGIER, 1970).

Il convient de préciser que chaque lot analysé est composé par les échantillons de 10 individus différents de posidonie récoltés dans la même

(1) Il nous est agréable de remercier ici nos collègues EUMIG, HARMELIN, LABOREL et VACELET pour leur précieux concours en plongée ainsi que l'équipage de l'Antedon pour son assistance en surface.

aire d'étude et représentant la même longueur moyenne des feuilles (75 cm). La poudre lyophilisée de chaque lot est homogénéisée avec grand soin et les dosages sont effectués sur au moins deux prélèvements de cette poudre, quelquefois plus si les valeurs obtenues par les deux premiers dosages ne coïncident pas parfaitement.

2.2. — Cendres totales.

Le dosage des cendres totales s'effectue sur des prises d'essai de 2 g de poudre lyophilisée que l'on calcine à la température de 450° C dans un four à moufle pendant 4 heures environ. Les cendres sombres sont ensuite triturées avec de l'eau chaude et recalcinées. L'incinération doit être réalisée à la température la plus basse possible, dans ces conditions, l'erreur due à la présence d'eau liée et de minéraux volatils est de l'ordre de 1 à 2 %. Au delà de 600° C, des pertes importantes peuvent être observées pour le matériel algal (CLENENNING, 1962).

2.3. — Carbone, hydrogène et azote.

Le carbone total, l'hydrogène total et l'azote total sont identifiés et dosés à l'aide de l'appareil C.H.N. Beckman.

Cette méthodologie a donné des résultats bien reproductibles dans la plupart des cas sauf pour les échantillons présentant une concentration en azote inférieure à 1 % de poudre lyophilisée. Dans ce cas, l'erreur est voisine de 20 % environ et les valeurs portées dans le tableau I représentent une moyenne d'au moins 3 à 4 dosages.

2.4. — Acides aminés et protéines.

L'analyse des acides aminés comporte trois phases successives : la libération des acides aminés constitutifs des protéines, par hydrolyse, leur séparation par chromatographie sur résines échangeuses d'ions et enfin leur dosage par colorimétrie.

L'hydrolyse acide par HCl 5,7 N, pendant 24 heures, à 110° C, en tube scellé sous vide (SCHRAM *et al.*, 1953), permet de libérer les acides aminés. Les hydrolisats obtenus sont filtrés sur verre fritté puis concentrés sous vide (GRAIG *et al.*, 1950).

La cystine, la cystéine et le tryptophane sont partiellement ou totalement détruits par ce procédé et sont donc traités par une méthode spécifique. La cystéine et la cystine sont préalablement transformées en acide cystéique par une oxydation performique (SCHRAM *et al.* 1953 : MORRE, 1965) avant d'être soumises à l'hydrolyse acide précédemment décrite.

Le dosage du tryptophane après hydrolyse acide ne peut pas être réalisé, la destruction de ce composé étant pratiquement totale dans ces conditions opératoires. Les techniques de dosage du tryptophane ne semblent d'ailleurs pas absolument satisfaisantes (LUVEN, 1963) ; la plus sensible est basée sur l'hydrolyse alcaline (DREZE, 1956) suivie d'un dosage colorimétrique.

Les poudres (100 mg pour chaque essai) sont mises en présence de soude 0,2 N (50 cc). La dissolution se fait sans agitation, pendant 72 heures, avec traitement final aux ultra-sons. Le dosage du tryptophane est effectué par colorimétrie à partir d'une courbe étalon obtenue à 590 mm grâce à la formation d'un complexe coloré développé par NaO₂ avec le para-diméthyl-aminobenzaldéhyde.

Les acides aminés libres sont solubilisés à l'aide d'une solution contenant 3 % d'acide sulfo-salicylique selon la méthode de GERIITSEN *et al.*, (1965).

Les analyses qualitatives et quantitatives des acides aminés sont réalisées sur résines échangeuses d'ions (MOORE *et al.*, 1958), à l'aide de l'appareil automatique auto-analyseur Beckman-Spenco (BUSSON *et al.*, 1960). Les densités optiques des fractions éluantes sont lues sous deux longueurs d'ondes différentes : 440 et 570 nm.

Le taux de protéines a été calculé en faisant la somme des taux des acides aminés identifiés et dosés.

3. — RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. — Cendres totales.

Les rhizomes révèlent des teneurs en cendres totales trois fois plus élevées que les racines et quatre fois et demi plus élevées que les feuilles (tableau I). Les résultats font également apparaître une variation de la concentration en cendres des feuilles en fonction de la profondeur : 5,9 % à —30 m, 5,5 % à —10 m et 4,0 % à —20 m.

3.2. — Carbone total.

Le taux de carbone total varie également dans les différents organes de la posidonie (tableau I), les valeurs les plus élevées ayant été mise en évidence dans les racines (38,64 %), puis dans les feuilles (33,85 %) et enfin dans les rhizomes (30,10 %). Les concentrations sont plus élevées dans les feuilles récoltées à —20 m (33,85 %) que dans celles prélevées à —10 m (32,67 % et à —30 m (31,45 %).

3.3. — Azote et protéines.

Comme nous l'avons dit précédemment, le dosage de l'azote total au CHN Beckman manque de précision lorsque les concentrations d'azote sont faibles. En particulier, si le taux d'azote est inférieur à 1 % de poudre lyophilisée, l'erreur est de l'ordre de 20 % environ pour chaque dosage et par conséquent les valeurs les plus faibles portées dans le tableau I ne doivent pas être considérées avec une grande rigueur. Cette erreur potentielle est cependant en partie compensée par le fait que le chiffre définitif représentent la moyenne d'au moins 3 à 4 dosages différents. Malgré cette réserve, il paraît néanmoins exister un gradient de concentration en azote total dans la plante, puisque les analyses ont révélé des taux de 0,43 % dans les racines, 0,51 % dans les rhizomes et 1,48 % dans les feuilles. Un gradient semblable existe également pour l'azote protéinique et les protéines (tableau I).

	RACINES	RHIZOMES	FEUILLES	FEUILLES		
				— 10 m	— 20 m	— 30 m
Cendres	6,6	18,5	4,0	5,5	4,0	5,09
Carbone total	38,64	30,10	33,85	32,67	33,85	31,45
Hydrogène total	4,93	3,97	4,93	4,66	4,93	4,40
Azote total	0,43	0,51	1,48	1,31	1,48	1,30
Azone protéinique	0,36	0,40	1,12	1,05	1,12	0,89
Protéines	2,29	2,50	7,03	6,56	7,03	5,57

TABLEAU 1 : Pourcentages de cendres, de carbone, d'hydrogène, d'azote et de protéines dans les différents organes de *Posidonia oceanica* (les pourcentages sont exprimés par rapport au poids de poudre lyophilisée. Les trois premières colonnes correspondent à une récolte réalisée à —20 m).

GENRES	ESPECES	AUTEURS	AZOTE TOTAL	PROTEINES
	<i>Posidonia oceanica</i>	MOLINIER <i>et al.</i> 1966 PELLEGRINI 1971	2,8 1,33 à 3,76	13,2
	<i>Cymodocea nodosa</i>	AUGIER <i>et al.</i> , 1977 c * AUGIER <i>et al.</i> , 1977 d **	1,38 1,76	8,62 11,00
	<i>Thalassia testudinum</i>	BURKHOLDER <i>et al.</i> , 1959 BAUERSFELD <i>et al.</i> , 1969		13 12

TABLEAU II : Taux d'azote total et de protéines dans les feuilles de différentes espèces de phanérogames marines (les concentrations en azote et en protéines sont exprimées en pourcentage par rapport au poids de plante déshydratée. Pour *Cymodocea nodosa*, les dosages ont été effectués sur des échantillons prélevés en milieu pollué (***) et en milieu exempt de pollution (*), dans l'archipel des îles de Lérins).

GROUPE	ECHANTILLONS	Auteurs	Azote total	Protéines
Algues présentant les taux les plus bas	<i>Liagora viscida</i>	a	0,22	1,37
	<i>Sphaerococcus coronopifolius</i>	b	0,62	3,87
	<i>Rhodymenia palmata</i>	b	0,64	4,00
	<i>Corallina officinalis</i>	c	0,64	4,00
Algues présentant les taux les plus élevés	<i>Plumaria elegans</i>	c	5,92	37,00
	<i>Callithamnion granulatum</i>	a	6,56	41,00
	<i>Porphyra umbicalis</i>	d	6,90	43,12
	<i>Porphyra tenera</i>	b	7,79	48,68
Quelques algues d'intérêt commercial	<i>Laminaria digitata</i>	e	1,44	9
	<i>Pelvetia canaliculata</i>	d	1,96	12,15
	<i>Ascophyllum nodosum</i>	d	2,03	12,68
	<i>Fucus vesiculosus</i>	d	3,12	19,50
	<i>Laminaria saccharina</i>	d	4,05	25,31
Préparations commerciales à base d'algues marines	Fertilisant foliaire Goémar	f	0,68	4,25
	Ascomeal	g	0,97	6,10
		h	0,92	5,80
		g	0,97	6,10
	Neptune's Bounty	h	0,96	6,00

Tableau III : Taux d'azote total et de protéines dans différents échantillons d'algues marines (Exprimés en pourcentage par rapport au poids d'algues sèches. D'après PELLEGRINI 1968 (a), OGINO 1955 (b), CITHAREL *et al.*, 1963 (c), CITHAREL 1971 (d), AUGIER *et al.*, 1977 (e), AUGIER *et al.*, 1978 (f), CARROLL 1948 (9) et LYMAN *et al.*, 1956 (h)).

Les résultats font également apparaître des différences dans la composition azotée des feuilles en fonction de la profondeur de la station de récolte. Les feuilles prélevées à —20 m présentent les taux d'azote total et d'azote protéinique les plus élevés et celles récoltées à —30 m, les taux les plus faibles. Des différences semblables existent également en ce qui concerne les protéines, les taux les plus élevés ayant été trouvés dans les feuilles prélevées à —20 m. C'est également à cette profondeur et dans le même secteur du Parc National de Port-Cros qu'ont été trouvés les taux les plus élevés en pigments photosynthétiques et plus particulièrement en chlorophylles totales (AUGIER et MAUDINAS, 1977).

Il nous paraît intéressant de comparer maintenant nos résultats avec ceux obtenus antérieurement par nous-mêmes ou par d'autres auteurs. L'examen du tableau II montre, qu'en ce qui concerne *Posidonia oceanica*, les travaux de MOLINIER et PELLEGRINI (1966) ont révélé des taux d'azote total et de protéines plus élevés que les nôtres. Ces différences sont certainement liées au stade de croissance des feuilles comme l'a montré PELLEGRINI en 1971. Les travaux de cet auteur ont en effet révélé que les concentrations en azote total sont toujours plus élevées dans les feuilles jeunes que dans les feuilles âgées, les valeurs s'échelonnant de 3,76 % pour les feuilles de 5 à 20 cm de long à 1,33 % pour les feuilles plus âgées (25 à 40 cm de long). Il ne faut donc pas s'étonner que les taux d'azote obtenus sont inférieurs à ceux fournis par MOLINIER et PELLEGRINI (1966) puisque les feuilles analysées dans notre étude avaient une longueur de 75 cm.

Le tableau II montre également que les teneurs en azote total et en protéines de *Posidonia oceanica* sont assez voisines de celles de *Cymodocea nodosa* et de *Thalassia testudinum*, les écarts enregistrés pouvant résulter du lieu et de la profondeur de prélèvement des feuilles et de leur degré de développement.

La comparaison avec les algues marines (tableau III) fait apparaître que les phanérogames marines analysées (tableau II) et *Posidonia oceanica* en particulier, présentent des taux d'azote total et de protéines qui se situent dans des valeurs moyennes par rapport aux espèces d'algues présentant les taux les plus faibles et les espèces d'algues présentant les taux les plus élevés. Il nous paraît intéressant de souligner que les taux d'azote total et de protéines sont plus élevés chez *Posidonia oceanica* que dans diverses préparations commerciales à base d'algues marines (tableau III).

Enfin si l'on se réfère aux travaux de BUSSON (1965), on peut dire que les taux d'azote total et de protéines de la posidonie sont assez voisins de ceux de nombreuses phanérogames terrestres.

3.4. — Acides aminés protéiniques.

Les dosages ont permis d'identifier 17 acides aminés différents constitutifs des protéines dans les racines, les rhizomes et les feuilles de *Posidonia oceanica* (tableau II). Des analyses complémentaires plus élaborées permettraient certainement d'augmenter cette liste avec quel-

ques acides aminés moins bien connus et quantitativement moins importants, tels que l'acide γ -amino butyrique et l'acide lévulinique déjà signalés par MOLINIER et PELLEGRINI (1966).

3.4.1. — Répartition.

L'analyse des extraits des différentes parties de la plante révèle des concentrations en acides aminés protéiniques trois fois plus élevées dans les feuilles que dans les racines et les rhizomes (tableau IV). Ces trois organes présentent, par contre, en commun, des taux élevés en acide aspartique et en acide glutamique ce qui est d'ailleurs conforme aux résultats obtenus chez de très nombreuses phanérogames terrestres (BUSSON, 1965).

Dans les *feuilles*, on note ensuite, par ordre d'importance : la leucine, la lysine, la phénylalanine, la proline, l'alanine et la glycine dont le taux dépasse, pour chacun, 0,4 % de poudre lyophilisée. Les valeurs les plus faibles ont été enregistrées pour le tryptophane et la méthionine.

- Les *rhizomes* présentent des différences marquées avec les feuilles :
- seul l'acide aspartique révèle des concentrations supérieures à 0,4 % de poudre lyophilisée ;
 - la glycine vient au deuxième rang avec un taux de 0,295 %, avant l'acide glutamique (0,204 %) et l'arginine (0,202 %) ;
 - les autres acides aminés présentent des concentrations inférieures à 0,1 %, sauf la sérine (0,123 %), l'alanine (0,116 %), la leucine (0,108 %) et la lysine (0,106 %) ;
 - les concentrations les plus faibles ont été enregistrées pour la méthionine et la tyrosine.

Dans les *racines*, trois acides aminés seulement présentent des concentrations supérieures à 0,2 % de poudre lyophilisée ; il s'agit des acides aspartique (0,296 %) et glutamique (0,247 %) et de la glycine (0,218 %). On note ensuite, par ordre d'importance, la lysine (0,148 %), l'alanine (0,147 %) et la proline (0,146 %) qui dépassent 0,14 % de poudre lyophilisée.

En ce qui concerne les feuilles, nous avons vu précédemment que les échantillons jeunes, analysés par MOLINIER et PELLEGRINI (1966), présentent des teneurs en azote total nettement plus élevées que les échantillons plus âgés étudiés dans ce travail. Il en est de même pour le pourcentage des acides aminés protéiniques qui est plus important dans les expériences de MOLINIER et PELLEGRINI (tableau V) que dans les nôtres (tableau IV). Il existe néanmoins des similitudes qu'il est intéressant de souligner et plus particulièrement :

- la présence, dans les deux cas, de quantités importantes d'acides momoaminés dicarboxyliques (acides aspartique et glutamique) ;
- la même importance de la leucine et de la lysine ;
- l'existence de faibles quantités de tryptophane et de méthionine.

ACIDES AMINÉS PROTÉINIQUES		RACINES	RHIZOMES	FEUILLES	FEUILLES		
					- 10 m	- 20 m	- 30 m
Acides monoaminés monocarboxyliques	Alanine	0,147	0,116	0,415	0,335	0,415	0,338
	Glycine	0,218	0,295	0,400	0,325	0,400	0,318
	Valine	0,102	0,089	0,353	0,284	0,353	0,284
	Leucine	0,125	0,108	0,586	0,463	0,586	0,463
	Isoleucine	0,076	0,060	0,306	0,229	0,306	0,242
Acides monoaminés dicarboxyliques	Acide glutamique	0,247	0,204	0,865	0,698	0,865	0,743
	Acide aspartique	0,296	0,570	1,186	1,908	1,186	0,932
Acides aminés Alcools	Thréonine	0,119	0,085	0,296	0,245	0,296	0,239
	Sérine	0,119	0,123	0,332	0,266	0,332	0,267
Acides diamminés	Arginine	0,135	0,202	0,313	0,261	0,313	0,281
	Lysine	0,148	0,106	0,447	0,378	0,447	0,353
Acides aminés soufrés	Cystéine	0	0	0	0	0	0
	Méthionine	0,004	0,012	0,130	0,063	0,130	0,052
	Tyrosine	0,047	0,040	0,282	0,162	0,282	0,148
Acides aminés aromatiques	Phénylalanine	0,079	0,059	0,433	0,291	0,433	0,284
	Histidine	0,094	0,070	0	0,120	0	0,094
Acides aminés hétérocycliques	Proline	0,146	0,075	0,428	0,278	0,428	0,255
	Tryptophane	0,050	0,060	0,120	0,130	0,120	0,100
Poids total d'acides aminés pour 100 g de poudre lyophilisée.		2,152	2,274	6,892	6,436	6,892	5,393

Tableau IV : Taux d'acides aminés protéiniques dans les différents organes de *Posidonia oceanica*. (Les résultats sont exprimés en pourcentages par rapport au poids de poudre lyophilisée. Les trois premières colonnes correspondent à une récolte à - 20 m).

	ACIDES AMINES PROTEINIQUEES					ACIDES AMINES LIBRES		
	Posidonia océanica	Cymodocea nodosa			Thalassia testudinum	Posidonia océanica	Halophila stipitata	
	MOLINIER et al., 1966	AUGIER et al., 1977 a et b	BAUERSFELD et al., 1969	BURKHOLDER et al., 1959	TSEKOS et al., 1975			
	1	2	3	4	5	6	7	
Alanine	0,6	0,53	0,64	0,488		0,0045	0,0070	
Glycine	0,6	0,56	0,79	0,511		0,0055	0,0100	
Valine	0,6	0,35	0,56	0,390	0,317	0,0010		
Leucine	0,7	0,58	0,71	0,546	0,693	0,0005	0,0005	
Isoleucine	0,5	0,22	0,35	0,319	0,249			
Acide glutamique	1,6	1,08	1,36	1,039	1,090	0,0225	0,0090	
Acide aspartique	3,4	0,66	0,75	1,032	1,120	0,0045	0,0080	
Threonine	0,5	0,33	0,43	0,314	0,204			
Sérine	0,5	0,43	0,46	0,377		0,0095	0,0135	
Arginine	0,6	0,54	0,59	0,644	0,702		0,0005	
Lysine	0,7	0,56	0,60	0,557	0,720	0,0005		
Cystéine	0,2	0,14	0,22					
Méthionine	0,3	0,08	0,16	0,133	0,187			
Tyrosine	0,3	0,27	0,43	0,307		0,0005		
Phénylalanine	0,5	0,35	0,46	0,400	0,465		0,0015	
Histidine	0,3	0,20	0,21	0,216	0,310	0,0010		
Proline	0,5	1,30	1,60	1,584				
Tryptophane	0,2	0,04	0,04		0,049			
Total	12,6	8,22	10,36	8,954	6,106	0,050	0,050	

Tableau V : Taux d'acides aminés des feuilles de différentes espèces de phénérôgarnes marines. (Les résultats sont exprimés en pourcentage de poudre déshydratée. Les valeurs figurant dans les colonnes 6 et 7 résultent de la conversion de $\mu\text{g/g}$ de plante vivante non déshydratée en pourcentage de poids de plantes déshydratées, en considérant très approximativement que les phénérôgarnes concernées présentent un taux d'humidité de 80%. Les échantillons 2 et 3 ont été prélevés à 1 m de profondeur en milieu non pollué (2) et en milieu pollué (3) dans les files de Lérins (Alpes Maritimes). L'échantillon 6 a été récolté à l'île de Thassos et le 7 à l'île de Rhodes.

ACIDES AMINÉS LIBRES	RACINES	RHIZOMES	FEUILLES		
			- 10 m	- 20 m	- 30 m
Acides monoaminés monocarboxyliques	Alanine	0,043	0,027	0,026	0,036
	Glycine	0,005	0,004	0,005	0,005
	Valine				
Acides monoaminés dicarboxyliques (L-α)	Leucine	0,004	0,012	0,003	0,002
	Isoleucine	0,003		0,004	0,002
	Acide glutamique	0,012		0,063	0,082
Acides aminés alcools	Acide aspartique	0,005	0,011	0,011	0,012
	Thréonine	0,009	0,003	0,003	0,005
	Sérine	0,020	0,012	0,012	0,014
	Arginine	0,027	0,178		0,004
Acides aminés souffrés	Lysine	0,006	0,015	0,005	0,005
	Cystéine				
	Méthionine			0,002	0,002
Acides aminés Aromatiques	Tyrosine			0,004	0,005
	Phénylalanine			0,006	0,005
Acides aminés hétérocycliques	Histidine	0,004	0,003		
	Proline				
	Tryptophane				
Poids total d'acides aminés pour 100 g de poudre lyophilisée.		0,138	0,229	0,138	0,179

Tableau VI : Taux d'acides aminés libres dans les différents organes de *Posidonia océanica*. (Les résultats sont exprimés en pourcentages par rapport au poids de poudre lyophilisée. Les trois premières colonnes correspondent à une récolte réalisée à - 20 m).

Chez les autres phanérogames marines (tableau VI) on note également des concentrations importantes en acide aspartique et en acide glutamique et des teneurs très faibles en tryptophane, cystéine et méthionine. Par contre, *Cymodocea nodosa*, comme *Thalassia testudinum* se caractérisent par des taux relativement élevés de proline, cet acide aminé n'ayant pas la même importance chez la posidonie (tableau IV). La concentration en proline chez la cymodocée et chez la *Thalassia* dépasse même celle de l'acide glutamique dans tous les cas (tableau V).

3.4.2. — Influence de la profondeur.

Les expériences ont également permis de mettre en évidence une variation de la composition en acides aminés des feuilles en fonction de la profondeur. L'examen du tableau IV montre, en particulier, que :

- la quantité d'acides aminés est maximale dans les feuilles à la profondeur de —20 m et minimale à —30 ;
- les taux d'acides aminés les plus élevés ont été trouvés, en général, dans les échantillons prélevés à —20 m, à l'exception de l'acide aspartique, du tryptophane et de l'histidine qui présentent des concentrations plus faibles que celles des feuilles prélevées à —10 m ; de même, les taux sont, en général, plus élevés à —10 m qu'à —30 m sauf pour l'isoleucine, l'acide glutamique et l'arginine ;
- les quantités d'acide aspartique et de tryptophane diminuent constamment avec la profondeur (il convient de souligner à ce sujet que la concentration en acide aspartique est deux fois plus élevée à —10 m qu'à —30 m) ;
- l'histidine, dosée dans les échantillons récoltés à —10 m et à —30 m, n'a pu être révélée dans les échantillons prélevés à —20 m.

3.5. — Acides aminés libres.

Treize acides aminés libres différents ont été identifiés et dosés dans les extraits lyophilisés de feuilles, 6 dans les extraits de rhizomes et 11 dans les extraits de racines, mais leur taux est très faible par rapport à ceux des acides aminés protéiniques (tableau VI). Des analyses complémentaires plus élaborées permettraient peut-être d'augmenter cette liste avec quelques acides aminés moins bien connus et présents à l'état de traces dans les extraits, nous avons notamment noté la présence dans tous les extraits d'un composé qui pourrait être l'asparagine.

3.5.1. — Répartition.

L'examen du tableau VI permet de remarquer que le pourcentage total des acides aminés libres des feuilles lyophilisées est égal à celui des racines et inférieur à celui des rhizomes. Cette valeur plus élevée des acides aminés libres totaux des rhizomes résulte essentiellement de l'existence de quantités relativement importantes d'arginine (cet acide aminé représente à lui seul plus de 77 % de la quantité totale des acides aminés libres). La présence d'une telle quantité d'arginine libre dans les rhizomes de posidonies doit certainement avoir une signification physiologique qu'il serait intéressant de connaître. Les rhizomes se distinguent

également des racines et des feuilles par l'absence d'acide glutamique et d'acide aspartique pourtant présent à des concentrations parfois relativement élevées dans ces deux derniers organes.

Il convient également de noter, comme différence, la présence d'histidine dans les racines et les rhizomes et son absence dans les feuilles, de même que la présence de méthionine et de tyrosine dans les feuilles et leur absence dans les racines et les rhizomes. Les trois organes ont, par contre, en commun des quantités relativement élevées d'alanine qui représente 31 % de la quantité totale d'acides aminés libres dans les racines, 11 % dans les rhizomes et 19 % dans les feuilles.

En ce qui concerne les feuilles, il est intéressant de comparer les résultats obtenus dans ce travail avec ceux de TSEKOS *et al.*, (1975). Comme le montre le tableau V, les échantillons analysés par ces auteurs (*Posidonia oceanica* et *Halophila stipulata*) présentent des pourcentages totaux d'acides aminés libres trois fois plus faibles que ceux que nous avons obtenus avec la posidonie de Port-Cros. Il serait intéressant de rechercher la cause exacte de ces différences et de voir si elles proviennent essentiellement des conditions écologiques (profondeur, qualité de l'eau, etc...) ou physiologiques (degré de développement, etc...) particulières à chaque cas.

Les posidonies de Port-Cros et celles de Thassos, ont par contre, en commun des quantités relativement importantes d'acide glutamique, d'acide aspartique et d'alanine, ces trois acides aminés représentant 63 % de la quantité totale d'acides aminés libres chez la posidonie de Thassos et 70 % chez celle de Port-Cros.

3.5.2. — Variation en fonction de la profondeur.

L'examen du tableau VI fait apparaître que la profondeur exerce un effet indéniable sur la composition en acides aminés libres des feuilles de posidonies, il est possible de noter en particulier que :

- la quantité totale des acides aminés libres, sensiblement égale à —10 et à —20 m est par contre, légèrement plus élevée à —30 m ;
- la concentration d'un certain nombre d'acides aminés croît avec la profondeur, il s'agit en particulier, par ordre d'importance, de l'alanine, de l'acide glutamique, de la sérine et de l'acide aspartique ;
- la concentration de certains acides aminés est la plus faible à —20 m, c'est le cas de la thréonine, de la méthionine et de la tyrosine ;
- la phénylalanine et l'arginine n'ont pas été révélées à —20 m, ces des acides aminés ayant pourtant été identifiées et dosées dans les feuilles prélevées à —10 et —30 m.

3.6. — La qualité protidique.

Sur le plan de la « qualité protidique », il paraît intéressant, pour terminer, de comparer les résultats obtenus dans cette étude avec ceux donnés par d'autres auteurs pour d'autres phanérogames marines ainsi que pour des végétaux couramment utilisés dans l'alimentation du bétail, comme la luzerne et le foin (tableau VII).

	Posidonia oceanica		Cymodocea nodosa		Thalassia testudinum		Zostera marina		Zostera noltii		Luzerne		Foin		Oeuf	
	AUGIER et al., 1966 (Météval-Tracud)	MOLINIER PELLEGRINI et al., 1973	PELLEGRINI et al., 1973	AUGIER et al., 1977 a et b	BAUERSFELD et al., 1969	PELLERINI et al., 1973	PELLERINI et al., 1973	PELLERINI et al., 1973	PELLERINI et al., 1973	PELLERINI et al., 1973	BIGWOOD et al., 1965	BIGWOOD et al., 1963				
Alanine	4,7	5,8	6,1	5,8	6,2	6,2	5,6	7,2	5,3	4,7	5,2	6,7				
Glycine	4,0	5,9	5,8	6,8	6,5	7,6	5,8	5,8	4,7	4,1	4,3	3,8				
Valine	4,2	3,6	5,1	5,7	4,1	5,4	4,4	2,9	3,1	4,3	4,4	6,7				
Leucine	5,7	7,5	8,5	8,3	6,7	6,9	6,2	7,5	9,2	5,6	6,3	8,8				
Isoleucine	3,4	3,8	4,5	4,4	2,6	3,4	3,6	4,4	7,0	3,2	3,2	5,6				
Acide glutamique	11,8	12,5	12,5	10,9	12,5	13,1	11,7	23,2	19,5	8,0	9,1	13,6				
Acide aspartique	24,6	18,7	17,3	8,0	7,6	7,2	11,6	10,5	6,3	10,8	8,5	10,7				
Threonine	3,4	4,5	4,3	4,0	3,8	4,2	3,5	4,0	2,8	3,7	3,7	5,1				
Sérine	3,7	5,5	4,8	5,0	5,0	4,4	4,3	6,7	2,8	3,9	3,5	7,8				
Arginine	4,2	6,8	4,5	11,0	6,3	5,7	7,2	5,2	7,6	3,3	3,8	6,1				
Lysine	5,1	5,0	6,5	8,8	6,5	5,8	6,3	5,2	8,6	4,2	3,7	6,8				
Cystéine	1,3		0		2,9	2,1				1,0	1,1	2,3				
Méthionine	2,2	1,9	1,9	2,1	0,9	1,5	1,5	1,3	0,5	1,5	1,4	3,5				
Tyrosine	2,5	6,5	4,1	5,6	3,1	4,2	3,5	3,7	4,2	2,9	2,5	4,3				
Phénylalanine	3,6	5,9	6,2	5,8	4,0	4,5	4,5	4,9	6,4	4,0	4,2	6,0				
Histidine	1,8	1,1		0,2	2,3	2,0	2,5	2,1	7,3	1,4	1,3	2,4				
Proline	3,4	5,0	6,2	7,6	15,0	15,4	17,8	5,4	4,7	6,3	5,5	5,1				
Tryptophane	1,4		1,7		0,5	0,4				0	1,0	1,4				

Tableau VIII : Comparaison de la composition en acides aminés protéiniques des feuilles de Posidonia oceanica analysées dans cette étude (1) avec celles d'autres échantillons de feuilles de posidonies (2 et 3) et divers autres échantillons de feuilles de phanérogames marines (4 à 10), de la luzerne (11), du foin (12) et de l'oeuf de poule (13). (Les concentrations sont exprimées en pourcentage d'acide aminé par rapport à la quantité de protéines totale. Les échantillons de foin analysés (12) correspondent à huit espèces de Graminées avec une dominance marquée (65%) pour Holcus lanatus).

En ce qui concerne les phanérogames marines, il est possible de noter :

- des taux importants d'acide glutamique pour l'ensemble des espèces considérées et plus particulièrement pour les deux espèces de Zostères ;
- des concentrations élevées d'acide aspartique chez toutes les espèces, avec des valeurs plus faibles chez *Cymodocea* et *Zostera noltii* ;
- des teneurs plus élevées en proline chez *Cymodocea nodosa* et *Thalassia testudinum*, en alanine chez *Zostera marina*, en leucine chez *Zostera noltii* et en tryptophane chez *Posidonia oceanica*.

Si l'on compare maintenant la posidonie avec la luzerne et le foin, on relève des taux nettement plus élevés d'acide aspartique, d'acide glutamique, de leucine, de glycine, de lysine, de tyrosine et de phénylanine chez la phanérogame marine. Les taux élevés de ces acides aminés, dont certains sont rigoureusement indispensables à l'alimentation animale comme la lysine, la leucine, la phénylalanine et la tyrosine, confèrent à l'extrait de posidonies une qualité protidique indéniable en se référant à la composition protéinique du foin et de la luzerne.

La comparaison avec l'œuf de poule (tableau VII), qui représente un critère de qualité protidique correspondant à un équilibre biologique parfait (BUSSON, 1965) est assez suggestif. On note des taux semblables en lysine, leucine, acide glutamique, alanine, tyrosine, phénylalanine et tryptophane. Néanmoins, l'œuf de poule révèle des pourcentages plus élevés en valine, thréonine, sérine, arginine, cystéine, méthionine et histidine. Par contre, le taux d'acide aspartique est plus important chez *Posidonia oceanica* ainsi que celui de la glycine et de la proline. Il convient néanmoins d'interpréter avec prudence les conclusions qui pourraient être tirées de ces similitudes de composition entre les feuilles de posidonies et la luzerne, le foin et l'œuf de poule. En effet, comme le souligne BUSSON (1965) : « des compositions identiques en acides aminés ne signifient pas nécessairement valeur biologique identique, cette dernière dépendant également du mode d'enchaînement des acides aminés ».

BIBLIOGRAPHIE

- AUGIER H., 1970. — La lyophilisation, son utilisation en phycologie. *Bull. Mus. Hist. nat., Marseille*, 30 : 229-251.
- AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G., 1976 a. — Recherches sur la pollution mercurielle en rade d'Hyères et dans l'archipel des Stoechades (Méditerranée, France). — 1. — Teneur en mercure des eaux, des sédiments et des phanérogames marines de milieu lagunaire dans l'anse de Port-Cros (Parc National). *Trav. Sci. Parc Nat. de Port-Cros*, 2 : 23-28.
- AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G., 1976 b. — Recherche sur la pollution par le mercure dans le Golfe de Fos : Comportement des phanérogames marines de deux stations-tests par rapport à celles du Parc National de Port-Cros. *XXV^e Congrès - Assemblée plén. Comm. Intern. Explor. Sci. Mer Méditer. Split*, 22-30 octobre, 1976 : 2 p.

- AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G., 1977 a. — Recherche sur la pollution mercurielle en rade d'Hyères et dans l'archipel des Stoechades (Méditerranée, France). — 3. — Teneur en mercure de la phanérogame marine *Posidonia oceanica* en fonction de la profondeur et de la pollution dans l'île de Port-Cros. Comparaison avec d'autres régions du littoral méditerranéen français. *Trav. Sci. Parc Nation. Port-Cros*, 3 : 27-38.
- AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G., 1977 b. — Utilisation de la phanérogame marine *Posidonia oceanica* Delile pour mesurer le degré de contamination mercurielle des eaux littorales méditerranéennes. *C.R. Acad. Sci.*, D, 285 : 1557-1560.
- AUGIER H., SANTIMONE M., VINCENTELLI M., 1977 c. — Contribution à l'étude de la répartition de l'azote total, des protéines et des acides aminés protidiques chez la phanérogame marine *Cymodocea nodosa*. *Bull. Soc. Phycol de Fr.*, N° spécial dédié au Professeur Feldmann, 22 : 120-126.
- AUGIER H., SANTIMONE M., VINCENTELLI M., 1977 d. — Influence de la pollution par les eaux d'égouts sur la composition en azote total, en protéines et en acides aminés de la phanérogames marine *Cymodocea nodosa*. *Envir. Pollut.*, 13 : 217-227.
- AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G., 1978 a. — Recherche sur la pollution mercurielle du milieu maritime dans la région de Marseille (Méditerranée, France). 1. Teneur en mercure de la phanérogame marine *Posidonia oceanica* en fonction de la profondeur et de l'éloignement du grand complexe portuaire marseillais et du rejet du collecteur général d'égout de Cortiou. *Environ. Pollut.*, 14 : 269-85.
- AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G., 1978 b. — Recherche sur la pollution mercurielle dans le golfe de Fos (Méditerranée, France) : degré de contamination par le mercure des phanérogames marines *Posidonia oceanica* Delile, *Zostera noltii* Horneman et *Zostera marina* L. *Rev. Intern. Oceanog. med.*, LI - LII : 55-69.
- AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G., 1979. — Recherche sur la pollution littorale dans les Alpes-Maritimes (Méditerranée, France) : teneur en mercure de quelques organismes benthiques de la zone infralittorale supérieure au Cap d'Antibes. *Bull. Ecol.* (sous presse).
- AUGIER H., MAUDINAS B., 1977. — Variation de la croissance et de la teneur en pigments de la phanérogame marine *Posidonia oceanica* dans le Parc National de Port-Cros en fonction de la profondeur. Etude préliminaire des paramètres physiologiques et biochimiques susceptibles de caractériser le degré d'impact de la pollution sur l'herbier de posidonies. *Trav. Sci. Parc nation. Port-Cros*, 3 : 39-55.
- AUGIER H., MAUDINAS B., 1979. — Influence of the pollution on the photosynthetic pigments of the marine phanerogam *Posidonia oceanica* collected from different polluted areas of the region of Marseille (Mediterranean Sea, France). *Æcol. Plant.*, 14 (2) : 167-174.
- BAUERSFELD P., KIFER R.-R., DURRANT N.-W., SYKES J.-., 1969. — Nutrient content of turtle grass (*Thalassia testudinum*). *Proc. Intern. Seaw. Symp.*, 6 : 637-645.
- BIGWOOD E.-J., WODON C., 1963. — Acides aminés du lait de vache, de viande de bœuf, des aliments pour le bétail et du rumen. Contribution à l'étude du métabolisme de l'azote et du soufre chez le ruminant. *Travaux du Comité pour l'étude des maladies et de l'alimentation du bétail* (C.E.M.A.), N° 30, 2.
- BURKHOLDER P.-R., BURKHOLDER L.-M., RIVERO J.-A., 1959. — Chemical composition and yields of turtle grass (*Thalassia testudinum*). *Bull. Torrey Bot. Club*, 86 : 2.
- BUSSON F., 1965. — Etude chimique et biologique des végétaux alimentaires de l'Afrique Noire de l'Ouest dans leurs rapports avec le milieu géographique et humain. *Thèse Doct. Sci. Marseille* : 342 p.

- BUSSON F., CARBIENER R., LANZA J., 1960. — Méthodes chromatographiques de dosage des acides aminés. *Cah. tech. Centr. nat. coordinat. études, C.N.R.S., Paris*, 1 : 36 p.
- CITHAREL J., 1971. — Contribution à l'étude du métabolisme azoté des algues marines ; composition azotée de quelques espèces communes des côtes Nord de la Bretagne et étude de certains aspects du métabolisme de la citrulline chez *Polysiphonia lanosa* (L) Tandy. *Doct. Sci. Rennes* : 183 p.
- CITHAREL J., VILLERET S., 1963. — Recherches sur le métabolisme azoté de quelques algues marines des côtes bretonnes. *Proc. Internat. Seaweed Symp.* 4 : 291-300.
- CLENDENNING K.-A., 1962. — Détermination of fresh Weight, solids, ash, and equilibrium moisture in *Macrocystis pyrifera*. *Bot. Mar.*, 42 : 204-218.
- DREZE A., 1956. — Le dosage du tryptophane dans les milieux naturels. I. La bilité du tryptophane vis-à-vis des agents d'hydrolyses. *Bull. Soc. Chim. Biol.* 38 : 243.
- GERIITSEN T., REMBERG M.-L., WAISMAN H.-A., 1965. — On the determination of free amino acids in serum. *Anal. Biochem.*, 11 : 460-466.
- GRAIG L.-C., GREGORY T.-D., HAUSMANN W., 1950. — Versatile laboratory concentration device. *Anal. Chem.* 22 : 1462.
- LAHAYE J., 1976. — La reproduction artificielle et l'élevage des poissons plats. Dans : Océanographie biologique appliquée, *Masson, Edit.*, Paris : 269-290
- LUVEN P., 1963. — Considérations sur le dosage du tryptophane dans les aliments végétaux. *Qualitas plantarum et materiae vegetale* 10 : 276-291.
- LYMAN C.-M., KUIKEN K.-A., HALE F., 1956. — Essential amino-acid content of farm feeds. *J. agric. Fd. Chem.* 4 : 1008-1013.
- MOLINIER R., PELLEGRINI M., 1966. — Contribution à l'étude chimique des phanérogames marines. Composition en acides aminés des feuilles de posidonies (*Posidonia oceanica* Delile). *Med. Trop.*, 26 (4) : 1-15.
- MOORE S., 1965. — Sur la détermination de la cystéine sous forme d'acide cystéique et de la méthionine. *J. Biol. Chem.*, 238 : 235-237.
- MOORE S., SPACKMAN D., STEIN W., 1958. — Chromatography of amino acids on sulfonated polystyrene resins. *Anal. Chem.* 30 : 1185-1190.
- OGINO C., 1955. — Biochemical studies on the nitrogenous compounds of algae. *J. Tokio Univ. Fish.*, 41 : 107-152.
- PELLEGRINI M., 1968. — Contribution à l'étude chimique des algues méditerranéennes (Fractions azotées - acides aminés protidiques). *Doct. Spéc., Marseille* : 156 pp.
- PELLEGRINI M., 1971. — Contribution à l'étude biochimique des phanérogames marines : répartition et évolution de l'azote total chez *Posidonia oceanica* Delile. *Bull. Mus. Hist. nat. Marseille*, 31 : 197-202.
- PELLEGRINI M., RIOUALL R., 1973. — Contribution à l'étude biochimique des phanérogames marines et d'eaux saumâtres (acides aminés protidiques). *Rapp. Comm. inter, Mer Méditer.*, 21 (93) : 709-711.
- POTTIER J., 1929. — Etude des possibilités d'utilisation des plantes marines tunisiennes pour la nourriture du bétail. *Ann. Inst. Océanogr., Paris*, 6 (3) : 321-362.
- SCHRAM E., DUSTIN J.-P., MORRE S., BIGWOOD E.-J., 1953. — Application de la chromatographie sur échangeurs d'ions à l'étude de la composition des aliments en acides aminés. *Analytica chim. Acta, Pays-Bas*, 9 : 149-162.
- SCHRAM E., MOORE S., BIGWOOD E.-J., 1953. — Chromatographic determination of cystine as cysteic acid. *Biochem. J. G.B.*, 57 : 33-37.
- TSEKOS I., MARGARIS N.-S., HARITONIDIS S., 1975. — Pools of free amino acids in greek marine algae. *Biochem. Physiol. Pflanzen*, 167 : 165-172.

