

direction de l'environnement et de l'aménagement littoral
DEL / EC / BB

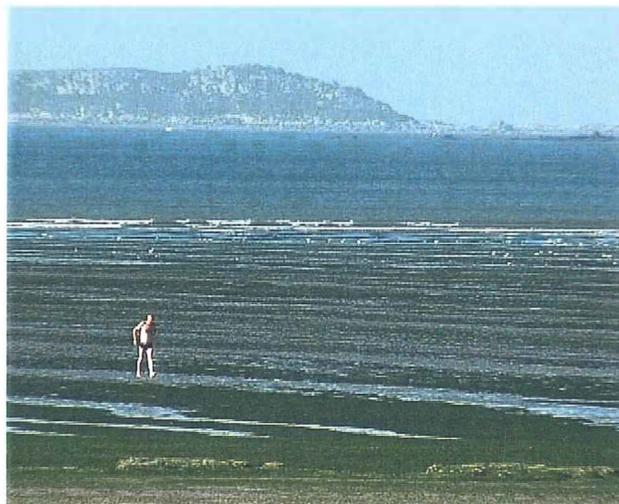
Michel Merceron
Juin 1999 – R. INT.DEL / 99.15 / BREST

pour l'AGENCE DE L'EAU LOIRE-ATLANTIQUE

lframer

inventaire des ulves en Bretagne année 1998

rapport de synthèse



IFREMER
Direction de l'Environnement
et de l'Aménagement Littoral

AGENCE DE L'EAU
LOIRE-BRETAGNE

INVENTAIRE DES ULVES EN BRETAGNE

ANNÉE 1998

Rapport de synthèse

Michel MERCERON

R. INT. DEL/99.15/Brest

FICHE DOCUMENTAIRE

Numéro d'identification du rapport : DEL/EC/RST/1999/15		date de publication : juin 99
Diffusion : libre		nombre de pages : 26
Validé par : MÉNESGUEN Alain		bibliographie : oui illustration(s) : oui
Version du document : définitive		langue du rapport : français
Titre et sous-titre du rapport : INVENTAIRE DES ULVES EN BRETAGNE – ANNÉE 1998 . Rapport de synthèse		
Titre traduit : STUDY OF <i>ULVA</i> PROLIFERATIONS IN BRITTANY – YEAR 1998 . Synthetic report		
Auteur(s) principal(aux) : nom, prénom MERCERON Michel	Organisme / Direction / Service, laboratoire IFREMER/DEL/EC/BB	
Collaborateur(s) : nom, prénom	Organisme / Direction / Service, laboratoire	
Titre du contrat de recherche : Inventaire des proliférations d'ulves sur les côtes de Bretagne en 1998		n° de contrat IFREMER 98/2 210 417/F
Organisme commanditaire : nom développé, sigle, adresse Agence de l'Eau Loire-Bretagne, avenue de Buffon, B.P. 6339, 45063 ORLÉANS CEDEX 02		
Organisme(s) réalisateur(s) : nom(s) développé(s), sigle(s), adresse(s) Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER) B.P. 70 29280 PLOUZANÉ (France)		
Responsable scientifique : MERCERON, Michel		
Cadre de la recherche :		
Programme :	Convention n° 98/2 210 417/F	
Projet :	Autres (préciser) :	
Campagne océanographique : (nom de campagne, année, nom du navire)		

Résumé :

L'inventaire 1998 des marées vertes sur les côtes bretonnes fait suite à celui de 1997. Il a été réalisé de la même manière de façon à permettre la comparaison. Il comprend un recensement sur la totalité de la côte de tous les sites atteints par une prolifération d'algues vertes, et une quantification précise sur treize d'entre eux, en général les plus affectés. Sur ces derniers, un suivi des flux d'azote à la période critique a été effectué, et le stock d'algues présentes sur la plage et dans les premières vagues a été quantifié. Le contraste climatologique fort entre 1997 et 1998 a été mis à profit pour comparer les conditions printanières et estivales et rechercher un lien avec l'abondance des algues. Les précipitations de mars à juillet 1997 sont déficitaires par rapport aux références interannuelles, alors que celles de 1998 sont largement excédentaires. Le rayonnement présente un contraste inverse, et de plus faible ampleur. Les concentrations de nitrate, et surtout les débits, sont supérieurs en 1998. Ils ont engendré des flux azotés en moyenne 3,3 fois plus élevés qu'en 1997. Le nombre total de sites atteints en 1998 est nettement supérieur à celui de 1997. Les ulves quantifiées sur l'estran et dans les premières vagues totalisent 21 000 t en 1998 contre 19 900 t l'année précédente. La forte augmentation du flux d'azote ne se traduit apparemment que par une faible augmentation des tonnages observés. Les indicateurs relatifs de rendement de transformation de l'azote en ulves dans les différents sites sont en 1998 inférieurs à ceux de 1997. Dans les baies de la Fresnaye, Lannion et Douarnenez, les indicateurs restent élevés. Les baies de Lancieux et de l'Arguenon d'une part, et les différentes parties de la baie de Douarnenez d'autre part, sont à considérer comme des ensembles du fait de leur bonne communication à basse mer. Un stock important d'ulves a été mis en évidence en baie de Douarnenez dans des zones plus profondes (-2 à -18 m). Il semblerait que de tels stocks "offshore" existent également dans d'autres sites. Avec l'augmentation du nombre de sites atteints, il s'agit là probablement d'une forme d'extension de l'eutrophisation des côtes bretonnes.

Abstract :

The 1998 survey of green tides on the Brittany coast was performed in the same way as that of 1997 in order to allow comparison. It includes an inventory of all the concerned sites, and a precise assessment of thirteen of them, the most loaded. On these ones, nitrogen fluxes were surveyed during the critical period, and the green seaweed stock on the beach and in the first waves was quantified. The climatic conditions were opposite between the two years, very dry in spring and summer 1997, and wet in 1998. The irradiance contrast was inverse, and less pronounced. The nitrate contents and mostly the flows were more important in 1998. They generated nitrogen fluxes about 3.3 times those of 1997. The total number of sites concerned in 1998 is clearly higher than in 1997. The algal biomass on the beach and in the next waves amounts 21 000 metric tons in 1998, versus 19 900 t in 1997. The large increase of the nitrogen flux seems to be expressed by only a very small extra biomass. The relative index of transformation yield of nitrogen into *Ulva* in the various sites are less than those of 1997. In the bays of La Fresnaye, Lannion, and Douarnenez, the index remains high. The bays of Lancieux and l'Arguenon must be considered as a unique site, due to the easy communication at low tide; the same for the different parts of the bay of Douarnenez. An important stock of *Ulva* was discovered in deeper parts of that bay (-2 to -18 m). It seems that such "offshore" stocks are present in other sites. It probably represents a way of spread of marine eutrophication in Brittany, as the increase of the number of concerned sites.

Mots-clés :

Eutrophisation, ulve, prolifération, nitrate, Bretagne

Keywords :

Eutrophication, *Ulva*, proliferation, nitrate, Brittany

Sommaire

INTRODUCTION.....	2
CLIMATOLOGIE	5
1/ Précipitations.....	7
2/ Rayonnement	9
3/ Vent.....	11
APPORTS AZOTÉS.....	13
1/ Débits	13
2/ Concentrations de nitrate	14
3/ Flux d'azote	14
QUANTITÉS D'ULVES.....	17
1/ Inventaire des sites.....	17
2/ Ulves ramassées	17
3/ Ulves observées	20
4/ Indice de sensibilité.....	21
CONCLUSION.....	25
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	26
ANNEXE 1 : DONNÉES PLUVIOMÉTRIQUES	
ANNEXE 2 : DONNÉES DE RAYONNEMENT	

INTRODUCTION

Objectif de l'étude

Depuis plus d'une décennie, des proliférations d'algues vertes du genre *Ulva* ont lieu chaque année à la belle saison sur certaines plages bretonnes. Ce phénomène de marée verte génère plusieurs inconvénients directs, affectant principalement le tourisme (odeur nauséabonde due au pourrissement, accès difficile à la mer pour le bain et les sports nautiques, pêche du bord impossible, etc.). L'image environnementale de la Bretagne subit également de ce fait une dégradation certaine, quoique plus diffuse.

La cause de ces proliférations est l'augmentation des flux de nitrate à la côte (Ménèsquen et Piriou, 1995). Ils sont le fait, dans la grande majorité des cas, d'une agriculture très intensifiée. Pour se développer, une marée verte requiert, simultanément à un apport de nitrate, la présence d'une plage sableuse d'assez grande dimension, et d'une masse d'eau peu renouvelée (Piriou *et al.*, 1991).

Jusqu'à l'heure actuelle, la seule parade est constituée par le ramassage des algues, suivi d'un enfouissement ou d'un enlèvement avec mise en décharge ou épandage agricole. L'Agence de l'Eau Loire-Bretagne est sur le point de promouvoir des moyens de lutte se situant plus en amont dans le processus, en s'attachant à une réduction des apports polluants par les bassins versants. Pour qu'on puisse en mesurer les effets, la démarche implique que l'on dispose d'un inventaire régulier des proliférations algales et de leurs variations interannuelles, ainsi que des apports nutritifs qui les nourrissent. Il est également très utile de connaître les conditions météorologiques de la saison, de façon à tenter de distinguer leur influence dans ces flux polluants de celle des actions de reconquête de la qualité de l'eau. L'Agence de l'Eau Loire-Bretagne a confié ces travaux à l'IFREMER par contrat pour l'année 1998, de la même façon qu'en 1997 (Merceron, 1998).

Contenu global

Comme il était convenu, l'inventaire des ulves en 1998 a été effectué à deux niveaux de précision. À une échelle générale, le littoral breton a fait l'objet d'un survol aérien permettant de recenser l'absence ou la présence de marées vertes sur la totalité de son linéaire. Un indice semi-quantitatif a été affecté aux sites touchés, et une vérité terrain rapide a permis d'identifier le genre d'algue accumulée.

Il était également prévu que sur 14 sites sélectionnés, la quantification des ulves de l'estran et des premières vagues serait faite de façon aussi précise que les méthodes actuelles le permettent, une fois entre la mi-juin et la mi-juillet (baies de Lancieux, l'Arguenon, la Fresnaye, Saint-Brieuc, anse de Binic, baie de Lannion, anses du Léguer et du Douron, secteur du Frouit près de Morlaix, anse de Pempoul près de Saint-Pol-de-Léon, anses de Dossen-

Guillec, de Guissény, baie de Concarneau-La-Forêt, est du Golfe du Morbihan). Ces sites sont présentés sur la figure 1. Les apports azotés à ces sites devaient être mesurés à 6 reprises durant la période de croissance des ulves.

L'ensemble de ces travaux de terrain été réalisé en sous-traitance, par le CEVA* pour ce qui concerne les algues (CEVA, 1998a) et par MAÏA-Infosciences pour ce qui a trait aux apports azotés (Coïc et Le Niliot, 1998). Ils font l'objet de rapports séparés qui sont annexés à celui-ci. On les consultera avec intérêt à propos du déroulement et des méthodes de travail ainsi que des résultats détaillés.

Un autre site présentant des échouages importants, la baie de Douarnenez, était étudié par ailleurs dans le contexte du Contrat de Plan Etat-Région Bretagne 1994-1998 (CEVA, 1998b ; EEL, 1998). Les flux azotés des baies de Lannion et Saint-Brieuc étaient suivis par le Conseil Général des Côtes-d'Armor. Ces résultats en termes de quantités d'algues et d'apports azotés ont été obtenus par l'IFREMER, et intégrés au présent travail. Les méthodes d'étude, et les intervenants, étaient similaires.

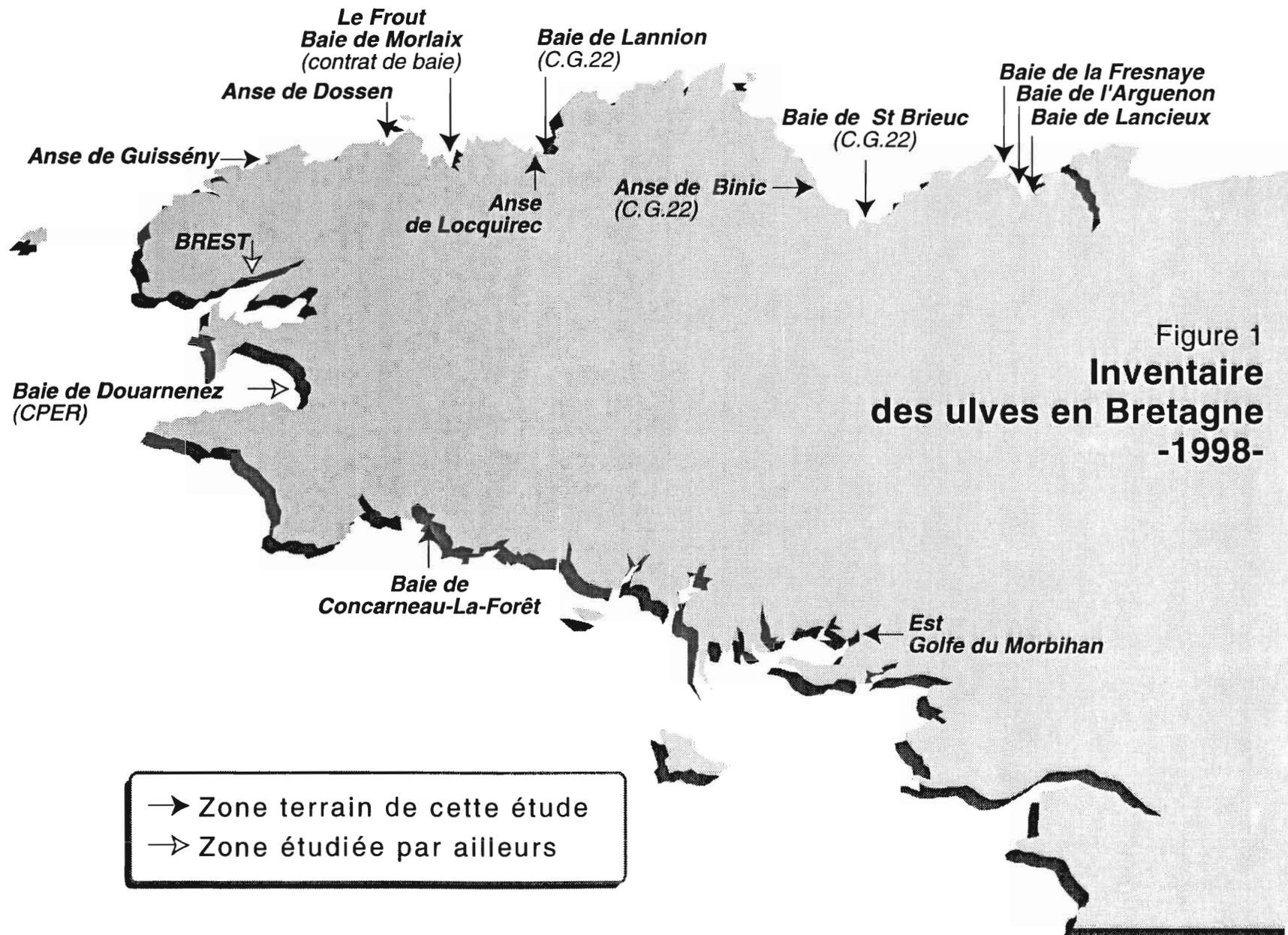
Les volumes d'ulves ramassées au cours de la belle saison ont été obtenus auprès des services départementaux, et également pris en compte. Nous avons ainsi adjoint le site de Brest à notre liste, car si le stock observable est faible, le ramassage y est très fréquent et arrive à totaliser une quantité non négligeable.

Enfin les données climatologiques de pluie, vent et rayonnement ont été rassemblées pour les sites importants pour la période du 1/3 au 31/7/98, de la même manière qu'en 1997. La succession de ces deux années très contrastées en ce qui concerne la pluviométrie printanière et estivale donne son intérêt à une approche explicative des variations des biomasses d'ulves par la météorologie.

Présentation des résultats synthétiques

Les résultats présentés ci-après comprennent en première partie l'exposé des principales données météorologiques des années 1997 et 1998. Les flux azotés dans les sites sélectionnés en 1998 y succèdent. Puis les quantités d'algues en jeu sur ces sites à forte prolifération sont présentées, et l'effet des flux azotés examiné. La liste générale des sites affectés en 1998 est comparée à celle de 1997. Les indices de transformation de l'azote en ulves des deux années sont également comparés.

* Centre d'Études et de Valorisation des Algues (à Pleubian, 22)



CLIMATOLOGIE

La climatologie est susceptible d'influencer les marées vertes de plusieurs façons. Les précipitations arrosant le bassin versant au moment de la pousse des ulves la favorisent en augmentant les flux azotés disponibles (de mars à juillet). A la même période le rayonnement solaire module également la croissance des algues par l'éclairement dispensé, ainsi que par le réchauffement des eaux qu'il induit. D'autre part, et au moins dans certains sites, le vent est susceptible d'influencer la direction et la vitesse du déplacement des ulves. Les quantités échouées peuvent donc en dépendre largement. Ces trois paramètres ont été acquis de mars à juillet inclus, en 1997 et 1998, à proximité des sites de prolifération algale. Les postes météorologiques dont les données ont été utilisées sont indiqués dans le tableau 1.

Site de marée verte	1997 et 1998		
	Précipitations	Rayonnement	Vent trihor.
	(mm/j)	(J/cm ² /j)	(dir. + vit.)
baie de Lancieux	Pleslin	Quintenic	Pleurtuit
baie de l'Arguenon	Pléven	Quintenic	Pleurtuit
baie de la Fresnaye	Quintenic	Quintenic	Pleurtuit
baie de Saint Briec	Lamballe et St-Donan	Quintenic	Trémuson
anse de Binic	St-Donan	Quintenic	Trémuson
baie de Lannion + Locquirec	Plufur	Sibiril	Sibiril
anses de Pempoul + Le Frouit	Morlaix	Sibiril	Sibiril
anse de Dossen	Plougourvest	Sibiril	Sibiril
anse de Guissény	Kernouès	Ploudalmézeau *	Brignogan
rade de Brest	Brest (PC Rade)	Guipavas	Guipavas
baie de Douarnenez	St-Nic	Saint-Ségal	Pte du Raz
baie de Conc. + La Forêt	Melgven	Quimperlé	Penmarc'h
N.E. golfe du Morbihan	St-Avé	Auray	Vannes
		*en 1997 Plouguin ; en 1998 Ploudalmézeau	

Tableau 1 - Postes météorologiques utilisés

Dans la mesure de leur disponibilité, nous avons préféré les données de vent et de rayonnement les plus proches de la côte concernée. Pour les précipitations, nous avons préféré, quand c'était possible, les données provenant de l'intérieur des terres, qui sont plus représentatives du bassin versant que celles de la frange côtière. On sait que celle-ci est en général nettement moins arrosée que l'intérieur.

Aux fins de comparaison, les moyennes décennales interannuelles des précipitations et du rayonnement ont été acquises, sur les périodes disponibles les plus longues aux différents postes. Ces périodes varient selon l'ancienneté des stations : 1989-96 à Quintenic, 1991-96 à Sibiril, 1990-96 à Plouguin, 1987-96 à Guipavas, 1989-96 à Saint-Ségal, 1990-96 à Quimperlé, 1995-96 à Auray.

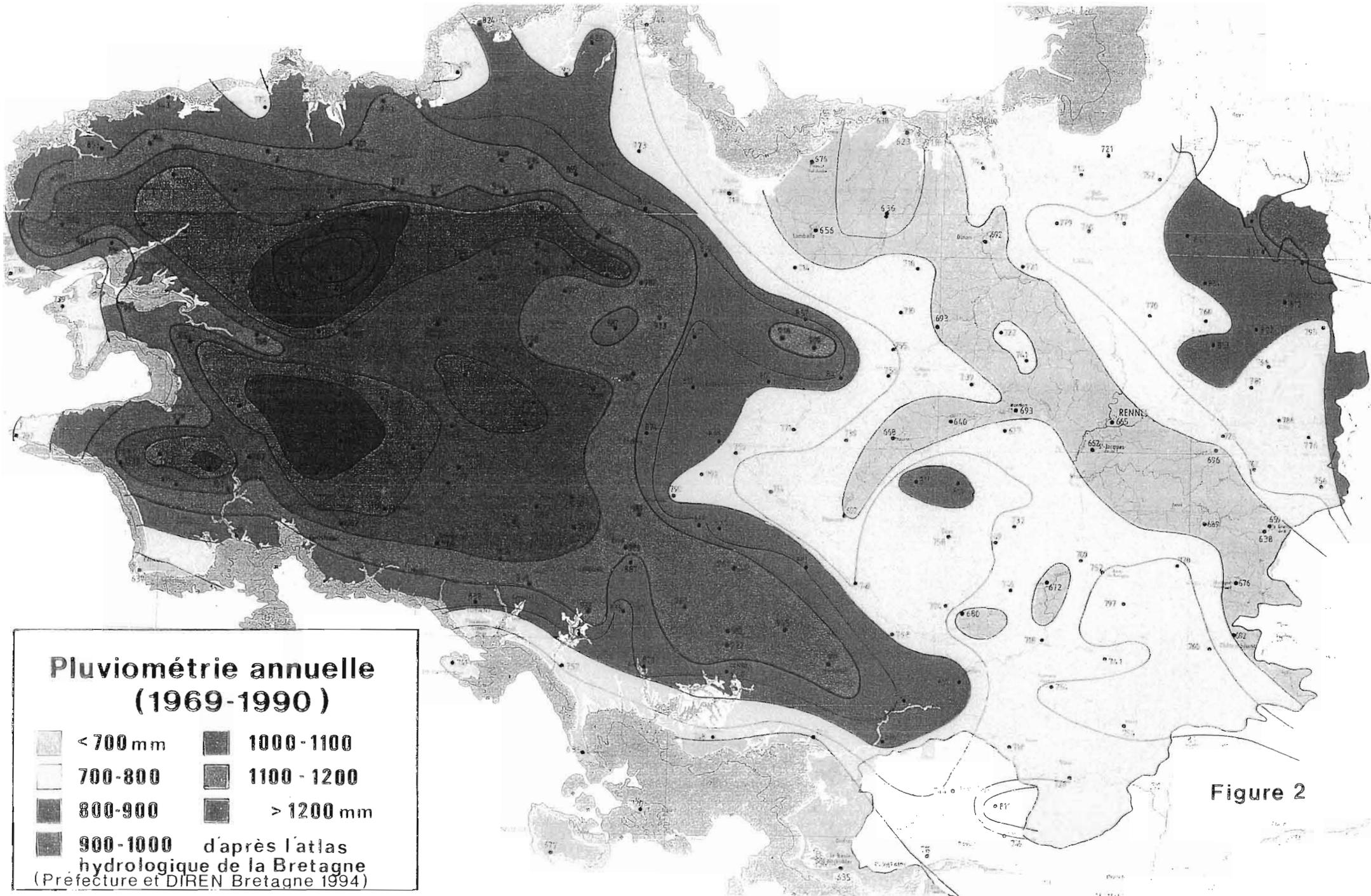


Figure 2

1/ PRÉCIPITATIONS

La carte des moyennes interannuelles des précipitations en Bretagne montre la combinaison de du facteur relief, qui induit les maxima centrés sur les Monts d'Arrée et les Montagnes Noires, avec un gradient décroissant de l'ouest vers l'est (fig. 2).

Les valeurs moyennes décadaires de précipitation de mars à juillet ont été acquises pour les différents postes de mesure depuis leur installation. La moyenne décadaire de l'ensemble cumulé des postes est présentée à la figure 3. On observe une tendance générale à la diminution des chutes de pluie avec le déroulement du printemps et de l'été. Elle est cependant modulée par trois ressauts : la troisième décade de mars, les deuxième et troisième décades de mai et la première décade de juillet.

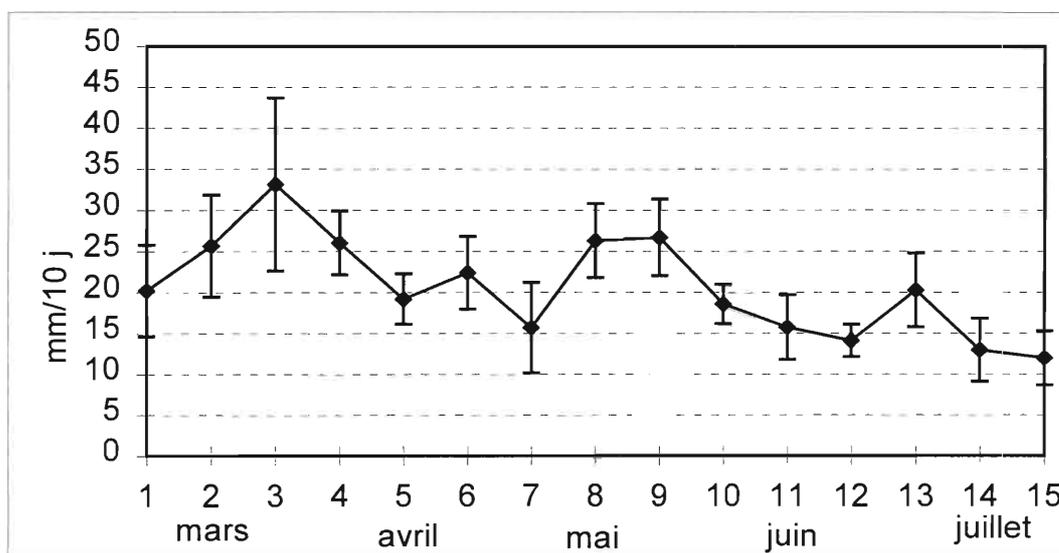
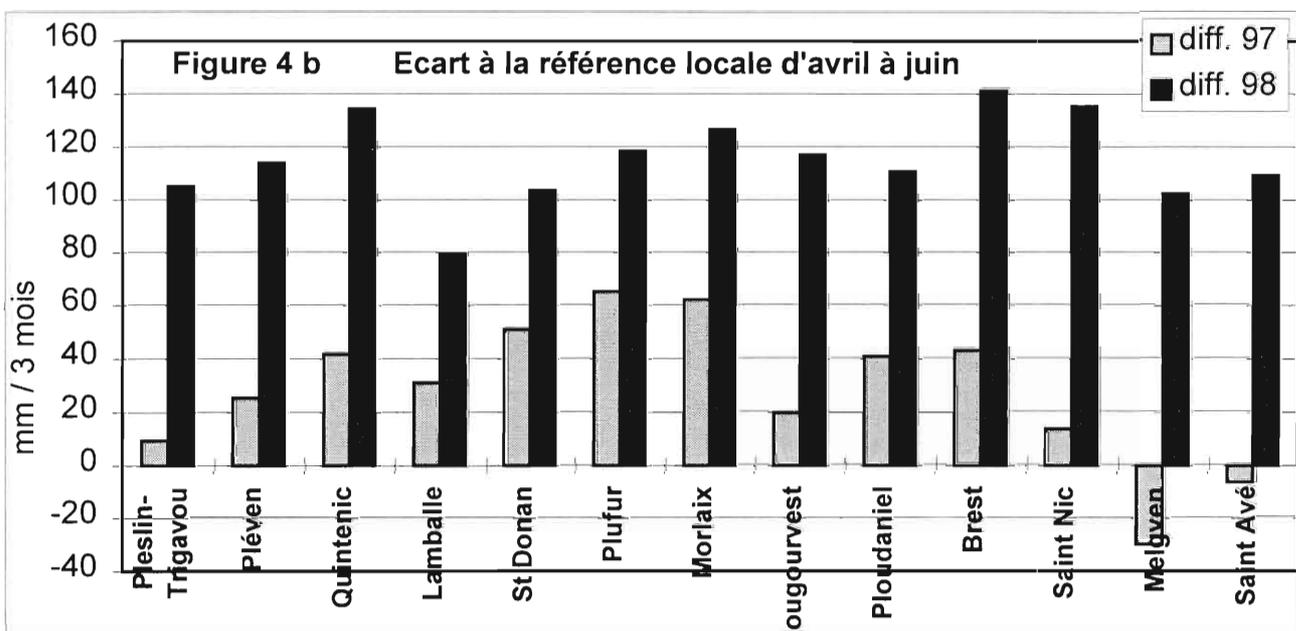
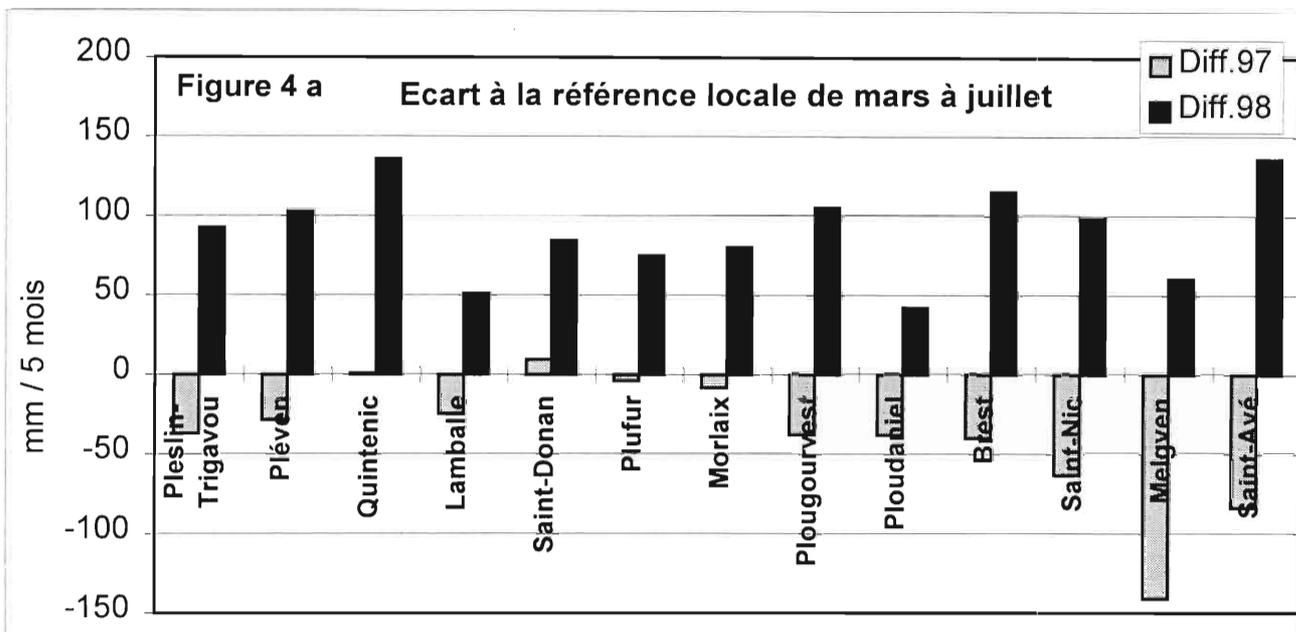


Figure 3 - Précipitations – Moyenne décadaire interannuelle et écart-type de l'ensemble des postes météorologiques utilisés (de mars à juillet) (mm / 10 j).

Les précipitations à chaque poste, globalisées sur la période de mars à juillet 1997 et 1998, sont représentées par leur écart à la moyenne décadaire de référence à chaque station (fig. 4a). Le déficit de 1997 et l'excédent de 1998 par rapport à la moyenne interannuelle apparaissent nettement. La différence entre les deux années est minimum de la baie de Saint-Brieuc au Léon, il est maximum en Bretagne sud. Cependant la période de pousse maximale des ulves se situe d'avril à juin, et la majorité des observations de stock a été effectuée entre la mi-juin et la mi-juillet. Une représentation des données pluviométriques limitées à la tranche d'avril à juin transforme le déficit de 1997 en un excédent (fig. 4b). Mais l'écart entre les deux années reste peu différent.



Figures 4a et 4b – Précipitations – Ecart de chaque poste en 1997 et 1998 par rapport à sa moyenne décadaire de référence. Valeur globalisée (a) de mars à juillet ; (b) d'avril à juin.

Les données décadaires de chaque poste de mars à juillet 1997 et 1998, normalisées par rapport à leurs références, sont présentées en annexe 1. On peut y noter que les précipitations de mars et de juillet 1997 sont presque toutes en déficit, ce qui explique la différence précitée entre les graphes 4a et 4b.

Les différences entre 1997 et 1998 pour la période d'avril à juin sont représentées dans le tableau 2. L'augmentation varie de 22 à 71 % selon les sites (43 % en moyenne), et représente une lame d'eau supplémentaire comprise entre 48 et 132 mm (87 mm en moyenne).

Poste météo	Diff. 1998 - 1997 (mm d'avril à juin)	Ratio 98 / 97 (d'avril à juin)	Site côtier
Pleslin-Trigavou	95,6	1,57	baie de Lancieux
Pléven	88,5	1,48	baie de l'Arguenon
Quintenic	92,8	1,48	baie de la Fresnaye
Lamballe	48,2	1,26	baie de Saint-Brieuc
St Donan	52,6	1,24	baie de Saint-Brieuc + Binic
Plufur	53,2	1,22	baies de Lannion et Locquirec
Morlaix	64,4	1,28	anses de Pempoul et du Frouit
Plougourvest	97,3	1,50	anse de Dossen
Ploudaniel	69,8	1,29	anse de Guissény
Brest	98,3	1,40	rade de Brest
Saint Nic	121,6	1,55	baie de Douarnenez
Melgven	132,3	1,71	baies de Concarneau et La Forêt
Saint Avé	115,7	1,66	N.E. golfe du Morbihan

Tableau 2 – Précipitations – Comparaison 1997 / 1998

2/ RAYONNEMENT

La somme des moyennes décadaires interannuelles du rayonnement des différents postes est tracée à la figure 5, pour la période de mars à juillet. L'évolution de l'énergie reçue avec l'avancement de la saison présente quelques pointes (première et troisième décades de mai, troisième décade de juillet), et une dépression (durant les deux premières décades de juillet).

Pour chaque poste, les différences aux références locales pour 1997 et 1998 sont représentées à la figure 6 pour l'ensemble de la période de mars à juillet. L'évolution temporelle de ces différences pour chaque poste est donnée dans l'annexe 2. La comparaison entre 1998 et 1997 est chiffrée au tableau 3 (différences absolues et ratios). Il s'avère qu'en 1998 l'énergie reçue sur les sites au printemps-été a été nettement inférieure à celle de 1997. C'est l'inverse logique de ce qui s'est produit pour les précipitations. La modulation géographique est cependant moins nette, l'écart étant minimum à Auray (56) et à Plouguin (29 N). Dans les autres zones, l'énergie reçue en 1998 a été de 12 à 17 % plus faible qu'en 1997.

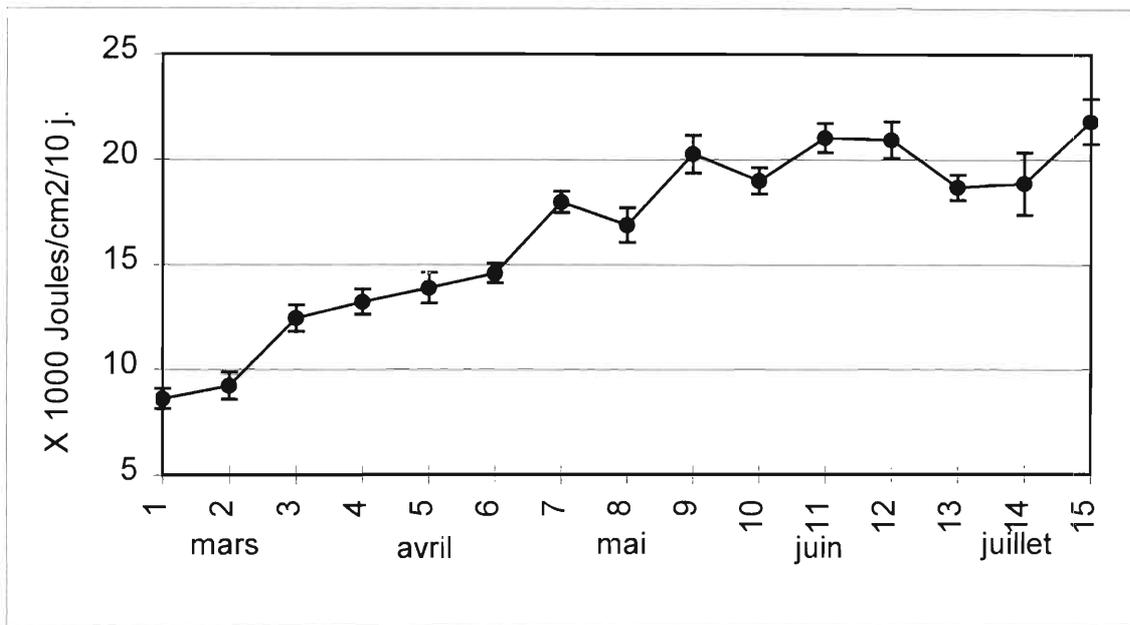


Figure 5 – Rayonnement – Moyenne décadaire interannuelle de l'ensemble des postes enregistrant le rayonnement listés au tableau 1 (de début mars à fin juillet, périodes variées).

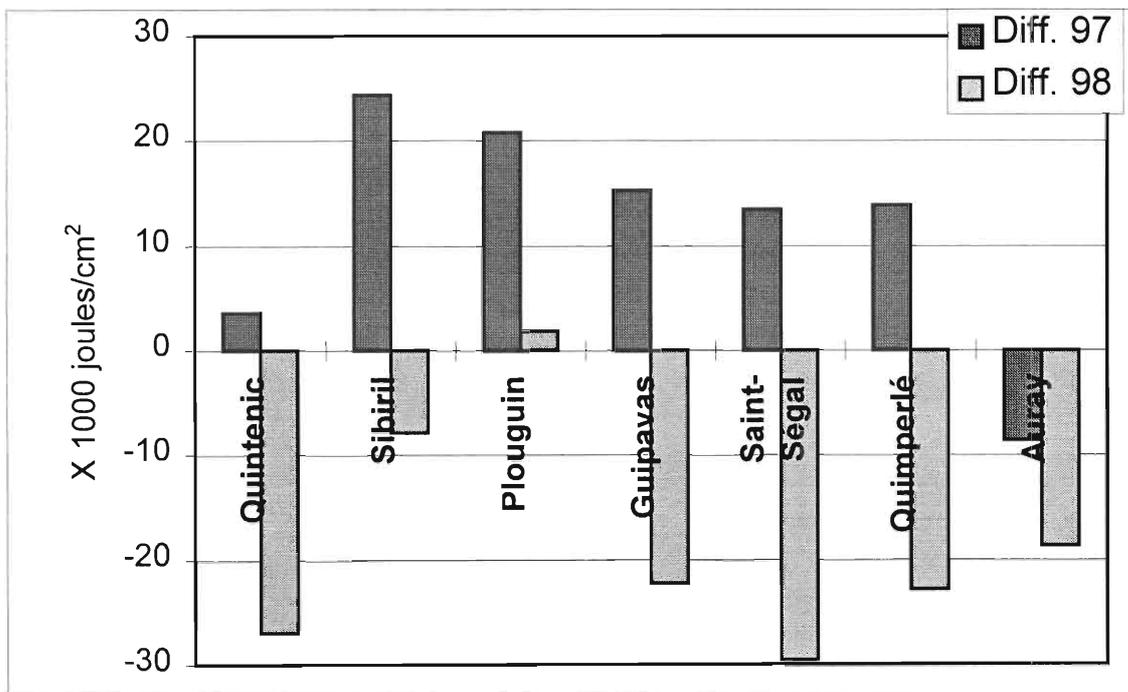


Figure 6 – Rayonnement – Ecart de chaque poste en 1997 et 1998 par rapport à sa moyenne décadaire de référence – Valeur globalisée sur la période de mars à juillet.

Poste météo*	Diff. 1998 - 1997 (kJ/cm ² /5 mois)	Ratio 98 / 97 (mars à juillet)
Quintenic	-30 572	0,88
Sibiril	-32 272	0,88
Plouguin	-18 903	0,93
Guipavas	-37 528	0,85
Saint-Ségal	-43 072	0,83
Quimperlé	-36 744	0,86
Auray	-10 072	0,96

* pour la correspondance avec les sites côtiers, voir tableau 1

Tableau 3 – Rayonnement – Comparaison des années 1997 et 1998 >sur les sites de marée verte, pendant la période de pousse (de mars à juillet)

Au total le contraste énergétique entre les deux années est beaucoup moins important que le contraste pluviométrique. L'effet favorisant d'un supplément de précipitations sur les marées vertes tend à contrarier l'effet d'une diminution de l'éclairement. Pour ces deux paramètres, la similitude entre les résultats des différents postes météorologiques est grande.

3/ VENT

Le vent est un facteur de déplacement des algues dérivantes des marées vertes. Dans les faibles profondeurs d'eau où elles se situent souvent, le vent constitue un moteur important. Le déplacement peut se faire parallèlement au trait de côte ou vers le large, bien que la zone de déferlement constitue souvent une barrière hydrodynamique efficace. Lorsque les algues sont en faible quantité dans l'eau, leur comportement peut sans doute être assimilé à celui de l'eau elle-même. En fortes densités, la viscosité de la suspension d'algues devient notablement plus élevée que celle de l'eau. Il est probable que la taille unitaire des ulves joue également un rôle dans ce paramètre.

Le déplacement des ulves est également régi par le clapot et la houle, dont l'influence varie en fonction inverse de la profondeur. De plus, les pointes rocheuses encadrant les anses et baies limitent d'autant plus les déplacements parallèles à la côte qu'elles avancent loin en mer.

Le vent est aussi un facteur d'échouage et de déséchouage éventuel. Ainsi, en baie de Douarnenez, il a été remarqué à de nombreuses reprises que les échouages étaient liés à l'orientation du vent au secteur nord-est (vent de terre), et que des vents d'ouest assez soutenus pouvaient libérer les plages de ses dépôts. Dans l'anse du Moulin Blanc en rade de Brest, c'est au contraire par vent de mer assez fort (de secteur sud-ouest) que les principaux échouages se produisent, et cela durant l'automne. L'orientation et la profondeur de l'indentation de la plage jouent évidemment un rôle primordial dans la sensibilité aux vents. Par ailleurs, l'évolution du coefficient de marée est importante. En période de revif (coefficients en augmentation) la mer est susceptible de reprendre ce qui est échoué depuis le dernier jour de même coefficient, alors qu'en période de déchet (coefficients en diminution), le stock d'algues échoué au moment de la pleine mer disposera de plusieurs jours pour sécher et se consolider avant d'être en situation d'être repris.

Le transport et l'échouage des algues est donc un problème complexe qui nécessite une approche approfondie. Quelles sont les vitesses critiques de mise en mouvement des ulves posées sur le

fond en fonction de leur taille ? Quelles sont les vitesses de dépôt ? Quelle est l'importance relative du courant et de l'ensemble clapot et houle dans le transport ? Comment agit le vent sur le courant dans les très petites profondeurs (circulation bicouche inverse ?) ? Autant de questions qu'il conviendrait de résoudre. Pour fournir une matière à réflexion il faudrait dans un premier temps pratiquer des observations quotidiennes des dépôts et reprises d'algues vertes dans un nombre limité de sites, et essayer de relier ces observations aux conditions locales de vent et d'agitation de la mer, ainsi qu'aux coefficients de marée. Cela a été tenté par l'IFREMER en baie de Douarnenez (non publié), et en association avec le CEVA en baie de Lannion (Louineau, 1985).

APPORTS AZOTÉS

1/ DÉBITS

Les débits printaniers des cours d'eau afférents aux plages atteintes par les marées vertes ont été largement plus importants en 1998 qu'en 1997 (tableau 4). Pour l'ensemble des sites, il s'est écoulé en moyenne 19,3 m³/s en 1998, contre 6,72 en 1997. Le rapport moyen entre les deux années est de 2,9, mais il recouvre des situations très contrastées. Il existe une similitude entre les deux années pour l'ensemble Le Froust, Dossen-Guillec, et Guissény, et le ratio est de plus de 9 pour la baie de l'Arguenon.

Rappelons que le ratio des précipitations d'avril à juin 98/97 a été de 1,43 en moyenne pour les stations météorologiques correspondant à ces sites.

Anse, baie	Déb.moy. glob.1998 (m ³ /s)	Déb.moy. glob.1997 (m ³ /s)	Ratio 98/97
Lancieux	0,31	0,11	2,8
Arguenon	2,73	0,30	9,1
La Fresnaye	0,25	0,08	3,1
Erquy			
St Brieuc (sud)	6,97	1,69	4,1
Binic			
Tréveneuc			
Lannion	1,22	0,61	2,0
Locquirec	1,33	0,63	2,1
Le Froust	0,09	0,09	0,9
Dossen-Guillec	1,21	1,21	1,0
Guissény	0,64	0,65	1,0
Brest			
Douarnenez	2,03	0,65	3,1
la Forêt	0,48	0,21	2,3*
Morbihan	2,02	0,49	4,1
Total =	19,29	6,72	2,9

* Le ratio 1998/1997 de La Forêt est de 1,8 en prenant les mêmes cours d'eau.

Tableau 4 – Débits moyens des cours d'eau, globalisés par sites (fin de printemps – début d'été)

2/ CONCENTRATIONS DE NITRATE

Du point de vue des concentrations de nitrate, la saison 1998 présente des valeurs supérieures ou égales à celles de 1997 (tableau 5). Leur moyenne est de 53,1 mg/l en 1998 et 42,2 mg/l en 1997, soit un ratio moyen de 1,3. Ce ratio est plus élevé pour les bassins versants se jetant à Saint-Brieuc et à l'est des Côtes-d'Armor que pour les autres. L'éventualité de lessivages importants lors d'années humides dans l'est des Côtes-d'Armor a déjà été signalée (Piriou *et al.*, 1993). Elle est en correspondance avec le ratio des débits 98/97 (tableau 4). Lorsque le BRGM* aura achevé la typologie des bassins versants bretons basée sur des caractéristiques simples (pente, nature lithologique, densité de drainage, etc.), il sera intéressant d'y rechercher un lien explicatif.

En plusieurs sites, l'abondance des débits du printemps 1998 a fait changer le cours d'eau délivrant le flux maximum d'azote sur zone par rapport à 1997 (cf. notes de bas de tableau 5). Les cours d'eau de 1997 ont été cependant conservés dans la colonne 1998 pour permettre la comparaison.

Les concentrations minimum et maximum de nitrate de la saison 98 augmentent elles aussi par rapport à celles de 97. Le bond du maximum observé en baie de Lancieux (132 mg/l) est dû au ruisseau du Tertre. Celui-ci contenait en moyenne 114 mg/l en 98 contre seulement 38 en 97 (six mesures par printemps).

3/ FLUX D'AZOTE

Les flux d'azote de printemps et début d'été ont été multipliés par 3,4 en moyenne entre 1997 et 1998 (tableau 6). Les deux saisons sont particulièrement contrastées, 1997 étant une année très sèche, et 1998 une année dont le printemps fut particulièrement pluvieux. Les précipitations abondantes de la saison 1998 sont la cause directe du phénomène par l'augmentation des débits qu'elles ont provoquées. Elles en sont également la cause indirecte, via l'augmentation des concentrations de nitrate, provenant elle-même du fort lessivage des terres faisant suite à une période de lessivage modéré ou faible.

En conséquence logique de l'évolution des débits, la partie centre et est de la côte costarmoricaïne ainsi que le golfe du Morbihan ont vu les plus fortes augmentations de flux azoté d'une année sur l'autre. Ainsi le très fort coefficient multiplicateur de 24,4 constaté en baie de l'Arguenon est largement redevable au quasi décuplement du débit du fleuve côtier du même nom.

De même qu'en 1997, l'ammoniaque a été dosé dans un échantillon de chaque cours d'eau lors de la première des six missions sur le terrain. Lorsque sa contribution au flux total d'azote du cours d'eau a été supérieure à 10 %, les dosages ont été poursuivis durant toute la campagne. Les concentrations observées en 1998 ont été généralement semblables ou inférieures à celles 1997, sauf dans le ruisseau de Cantizac débouchant dans l'anse de Séné (56), où elles ont été multipliées par 2,5. En baie de Saint-Brieuc, le pourcentage d'azote ammoniacal dans le flux d'azote total a été de 7,5 % en 1998, contre 35 % en 1997. Le principal pourvoyeur d'ammoniaque, le Gouët, qui reçoit les effluents de la station d'épuration de Saint-Brieuc, en contenait une proportion de 21 %.

* Bureau de Recherches Géologiques et Minières

Anse, baie	[NO3] moy.	[NO3] moy.	[NO3] moy.	[NO3] min- max	[NO3] min- max
	1998 (mg/l)	1997 (1) (mg/l)	Ratio 98/97	1998 (6) (mg/l)	1997 (6) (mg/l)
Lancieux (2)	48	24	2,0	19~132	1~32
Arguenon	63	38	1,7	9~48	13~80
La Fresnaye	75	44	1,7	27~93	19~53
Erquy					
St Brieuc (sud) (3)	37	24	1,5	24~82	13~52
Binic					
Tréveneuc					
Lannion	33	28	1,2	20~49	17~45
Locquirec	37	33	1,1	22~42	23~38
Le Froul	66	67	1,0	41~87	23~109
Dossen-Guillec (4)	99	88	1,1	73~111	53~106
Guissény	69	56	1,2	53~75	24~69
Brest					
Douarnenez (5)	36	35	1,0	25~66	17~68
la Forêt	46	46	1,0	10~48	40~50
Morbihan	29	23	1,3	1~34	1~29
Moyenne =	53,1	42,2	1,3		

- (1) Les concentrations moyennes de nitrate sont celles du cours d'eau délivrant le flux maximum. En 1998, les mêmes cours d'eau qu'en 1997 ont été sélectionnés. Mais parfois leur flux a été dépassé par un autre cours d'eau [voir (2), (3), (4), (5)].
- (2) En baie de Lancieux, le flux maximum a été en 1998 celui du Frémur de Saint-Briac (concentration moyenne de 16 mg/l).
- (3) En baie de St-Brieuc, le flux maximum a été en 1998 celui du Gouessant (concentration moyenne de 60 mg/l).
- (4) Dans l'anse de Dossen, le flux maximum a été en 1998 celui du Horn (concentration moyenne de 103 mg/l).
- (5) En baie de Douarnenez, le flux maximum a été en 1998 celui du Kerharo (concentration moyenne de 41 mg/l).
- (6) Les concentrations min-max de nitrate sont extraites de l'ensemble des affluents du site.

Tableau 5 – Concentrations moyennes de nitrate en fin de printemps et début d'été, et valeurs extrêmes

Anse, baie	kg/j 1998	kg/j 1997	Ratio 98/97
Lancieux	183	89	2,1
Arguenon	3 515	144	24,4
La Fresnaye	369	68	5,4
Erquy			
St Brieuc (sud)	7 954	1 319	6,0
Binic			
Tréveneuc			
Lannion	753	362	2,1
Locquirec	906	402	2,3
Le Froul	106	90	1,2
Dossen-Guillec	2 362	1 799	1,3
Guissény	854	596	1,4
Brest			
Douarnenez	2 066	608	3,4
la Forêt (*)	333	189	1,8
Morbihan (**)	808	366	2,2
Somme =	20 209	6 032	3,4

(*) 69 kg N/j sont exclus en 1998 de la comparaison (= 3 ruisseaux non échantillonnés en 1997).

(**) 317 kg N/j sont exclus en 1998 de la comparaison (= la Marle non échantillonnée en 1997).

Tableau 6 – Flux moyens d'azote en fin de printemps et début d'été

QUANTITÉS D'ULVES

1/ INVENTAIRE DES SITES

Le survol de la totalité de la côte bretonne a été effectué les 25, 26 et 30 juillet. Associé à une vérité terrain rapide, il a permis de répertorier 57 sites de marées vertes à ulves : 10 en Côtes-d'Armor, 37 en Finistère, 7 en Morbihan et 3 en Loire-Atlantique. La figure 7 signale leur emplacement assorti d'une classification sommaire de l'ampleur du phénomène. Dans 23 de ces sites des entéromorphes* accompagnaient les ulves. Dans 27 sites supplémentaires, elles se trouvaient seules. La comparaison de ces données avec celles de 1997 montre une progression du nombre de sites atteints (tableau 7). En 1997 et 1998, deux sites supplémentaires ont été colonisés par une autre espèce d'algue, seule présente. Ces nombres sont affectés d'un biais relatif à la période de passage de l'avion. Néanmoins, il reste que l'eutrophisation à macrophytes sur les côtes bretonnes a été nettement plus étendue géographiquement en 1998 qu'en 1997.

	Sites à ulves seules	Sites à ulves + entéromorphes	Sites à entéromorphes seules	Total
1997	20	15	8	43
1998	34	23	27	84

Tableau 7 – Nombre de sites de marée verte en Bretagne

2/ ULVES RAMASSÉES

Dans les zones sujettes à quantification, les volumes d'ulves ramassés se sont montés à plus de 38 100 m³ entre la mi-juin et la mi-septembre. Dans les mêmes conditions les ramassages de 1997 totalisaient 43 400 m³, soit environ 10 % de plus (tableau 8). Le ratio global de 0,9 entre les deux années recouvre des situations diverses : de 7,5 en baie de Lancieux à 0,3 dans l'anse de Locquirec et la baie de La Forêt/Fouesnant. Les sites qui voient leurs cubages augmenter sont les trois baies de l'est costarmoricain, Binic, les baies de Lannion et de Douarnenez. Ceux où les ramassages ont diminué sont : Erquy, Saint-Brieuc, Tréveneuc, Locquirec, Guissény et La Forêt/Fouesnant.

* Les entéromorphes sont des algues vertes en forme de tube irrégulier ; elles sont indicatrices d'une eutrophisation moins forte que celle signalée par les ulves.

Anse, baie	Ulves ramassées 1998 (m ³)	Ulves ramassées 1997 (m ³)	Ratio ulves ramassées 98 / 97
Lancierx	564	75	7,5
Arguenon	276	120	2,3
La Fresnaye	4	3	1,3
Erquy	528	953	0,6
St Briec (sud)	6 628	11 388	0,6
Binic	2 753	1 686	1,6
Tréveneuc	53	500	0,1
Lannion	12 070	9 985	1,2
Locquirec	1 611	5 630	0,3
Le Froul			
Dossen-Guillec			
Guissény	2 316	2 910	0,8
Brest	267	253	1,1
Douarnenez	9 836	4 475	2,2
la Forêt	1 208	4 818	0,3
Morbihan			
Total =	38 114	42 796	0,9

Tableau 8 – Volumes d'ulves ramassées

On sait que les opérations de ramassage sont décidées par les municipalités riveraines avec des variations d'effort inhérentes à la vigueur des réclamations des habitants, commerçants et touristes, à la disponibilité de moyens financiers et de solutions techniques pour le dépôt des algues, etc..

Outre les cubages comptabilisés ci-dessus, une quantité importante d'ulves (7 400 m³) est collectée dans les sites quantifiés avant la mi-juin et après la mi-septembre (tableau 9). Cette fraction "hors saison" tend à augmenter. De ce point de vue, Brest représente un cas extrême, puisque l'essentiel de la collecte annuelle (1 123 m³ en 1998) est depuis toujours réalisé en automne.

Département	22	29	Total
Ramassages hors été en zones quantifiées (m ³)	4 899	2 467	7 366
Ramassages 1998 hors zones quantifiées (m ³)	906	4 798	5 704
Total =	5 805	7 265	13 070

Tableau 9 – Volumes d'ulves ramassés en Bretagne hors comptabilisation au tableau 8

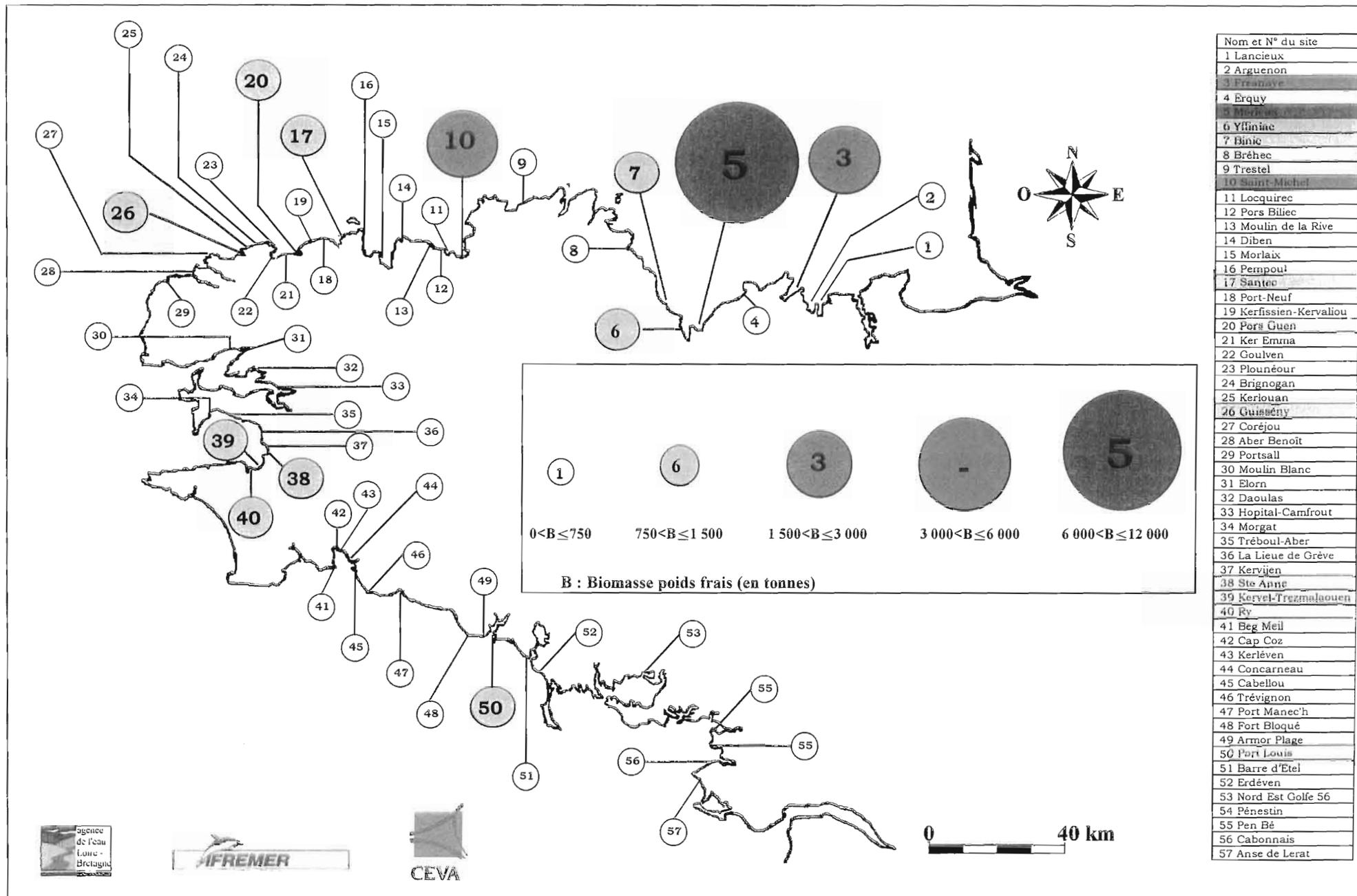


Figure 7 : Localisation et classement des sites à marée verte (*Ulva* sp.) à partir des missions aériennes des 25, 26 et 30 juillet 1998 et en intégrant les quantifications de biomasse algale réalisées au cours des mois de juin, juillet et d'août 1998.

CEVA/IFREMER (inventaire sites_MV ; décembre 1998)

D'autre part, en dehors des sites importants quantifiés ici, des ramassages ont lieu sur une dizaine d'autres sites, moins atteints. Ils ont cependant totalisé 5 700 m³ durant l'année 1998. Ainsi, le total des ulves ramassées en 1998 en Bretagne se monte *in fine* à 51 200 m³.

3/ ULVES OBSERVÉES

En treize sites, une quantification précise des tonnages d'ulves échoués sur la plage à basse mer et présents dans les premières vagues a été effectué, comme en 1997. La même méthode a été employée : photographies aériennes redressées et numérisées, classification assistée par ordinateur des aires couvertes d'algues, quantification des densités par pesées sur le terrain simultanément aux survols. Pour éviter une interférence des observations avec les ramassages estivaux, elles ont été effectuées avant la mi-juillet en Morbihan et Finistère (sauf Locquirec). En Côtes-d'Armor, les opérations ont dû être repoussées à la troisième semaine de juillet. En baie de Saint-Brieuc sud et à Binic, les exigences particulièrement sévères des vols de l'IGN ont contraint à ne les pratiquer que le 5 août.

21 000 t ont été comptabilisées sur les principaux sites en 1998, contre 20 000 t en 1997, soit 6 % de plus (tableau 10). Lancieux et Douarnenez ont subi une augmentation très forte des quantités observées. A Douarnenez, l'instabilité du stock côtier a été prouvée, et lors des observations de 1997 les tonnages avaient été inhabituellement faibles (cf Inventaire des ulves en 1997, fig. 10). En ce qui concerne la baie de Lancieux, la très forte croissance du tonnage est sans doute à rapprocher de celles des flux azotés en baie de l'Arguenon. Ces deux baies sont contiguës et communiquent facilement à basse mer sous l'influence du vent. Elles sont susceptibles de former une entité écologique unique, en ce qui concerne le problème des marées vertes au moins.

Anse, baie	Ulves observées 1998 (t)	Ulves observées 1997 (t)	Ratio ulves observées 98 / 97
Lancieux	662	23	28,8
Arguenon	218	68	3,2
La Fresnaye	2 801	1 806	1,6
Erquy			
St Brieuc (sud)	8 358	10 773	0,8
Binic	756	350	2,2
Tréveneuc			
Lannion	2 379	4 012	0,6
Locquirec	110	241	0,5
Le Froul	32	28	1,1
Dossen-Guillec	817	907	0,9
Guissény	808	773	1,0
Brest			
Douarnenez	3 400	99	34,3
la Forêt	579	403	1,4
Morbihan	114	380	0,3
Total =	21 034	19 863	1,1

Tableau 10 – Tonnage d'ulves observés en début d'été

De tendance inverse, le golfe du Morbihan voit son stock régresser fortement, probablement à la suite d'un meilleur fonctionnement des stations d'épuration qui génèrent l'essentiel de la prolifération.

Entre ces extrêmes, on note une diminution de moitié à Locquirec et Lannion (alors que les flux azotés sont doublés), et une multiplication par trois en baie de l'Arguenon (voir ci-dessus). Ailleurs la tendance est à la stabilité ou à une progression modérée.

Un récapitulatif des années précédentes est présenté sur les figures 8 et 9.

4/ INDICE DE SENSIBILITE

Un indice de sensibilité des sites a été calculé de la même façon qu'en 1997 (tableau 11). Schématiquement un potentiel théorique de production d'ulves (calculé à partir des flux azotés de juin) est divisé par les tonnages observés ou les cubages ramassés (le plus grand des deux nombres). Cette indication de la plus ou moins bonne transformation de l'azote est destinée à une comparaison intersite et interannuelle. Elle ne constitue pas une valeur absolue.

Anse, baie	Flux N (juin)	Ulv.pot. (flux N juin)	Prod.ulv. [obs.~ram.]	Indice de sensibilité	Rappel
	(t)	(t)	(t)	Prod.ulv. / Ulv.pot. (%)	indice 1997
Lancierx	1,2	1 743	662	38,0	7
Arguenon	28,2	40 300	276	0,7	1,2
La Fresnaye	4,4	6 243	2 801	44,9	59,1
Erquy					
St Briec	112,1	160 100	8 358	5,2	15,4
Binic			2 753		
Tréveneuc			53		
Lannion	19,2	27 400	12 070	44,1	57,3
Locquirec	21,8	31 200	1 611	5,2	29,4
Le Frou	4,4	6 314	32	0,5	0,2
Dossen-Guillec	79,7	113 886	817	0,7	0,9
Guissény	28,2	40 271	2 316	5,8	9,1
Brest			267		
Douarnenez	27,1	38 771	9 836	25,4	27,5
la Forêt	13,3	18 986	1 208	6,4	52,8
Morbihan	11,8	16 886	114	0,7	3,1
Total	351,47	502 099	43 174		

Tableau 11 – Indice de sensibilité relative des sites aux apports azotés

Le flux d'azote pris en compte est celui des 5 semaines centrées sur le mois de juin.

Le calcul du tonnage potentiel d'ulves fraîches a été effectué en prenant un rapport poids sec/poids frais de 2,8 %.

Le pourcentage d'azote par rapport au poids de matière sèche a été pris égal à 2,5 %. Le phosphore est supposé non limitant.

La production d'ulves constatée a été prise comme le tonnage le plus élevé entre les observations et les ramassages.

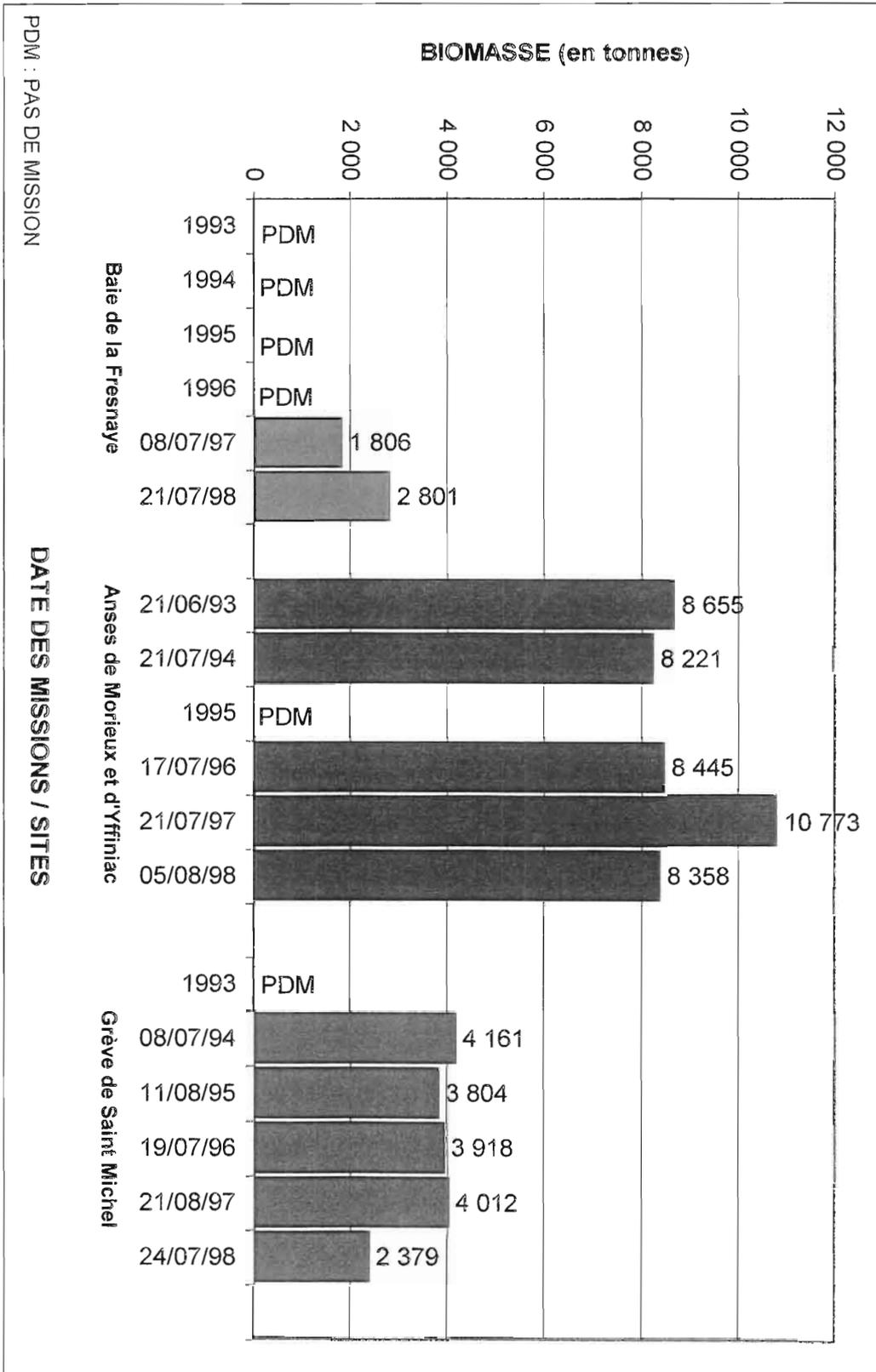


Figure 8 : Comparaison interannuelle de la biomasse d'algues vertes sur les sites des Côtes d'Armor à forte prolifération

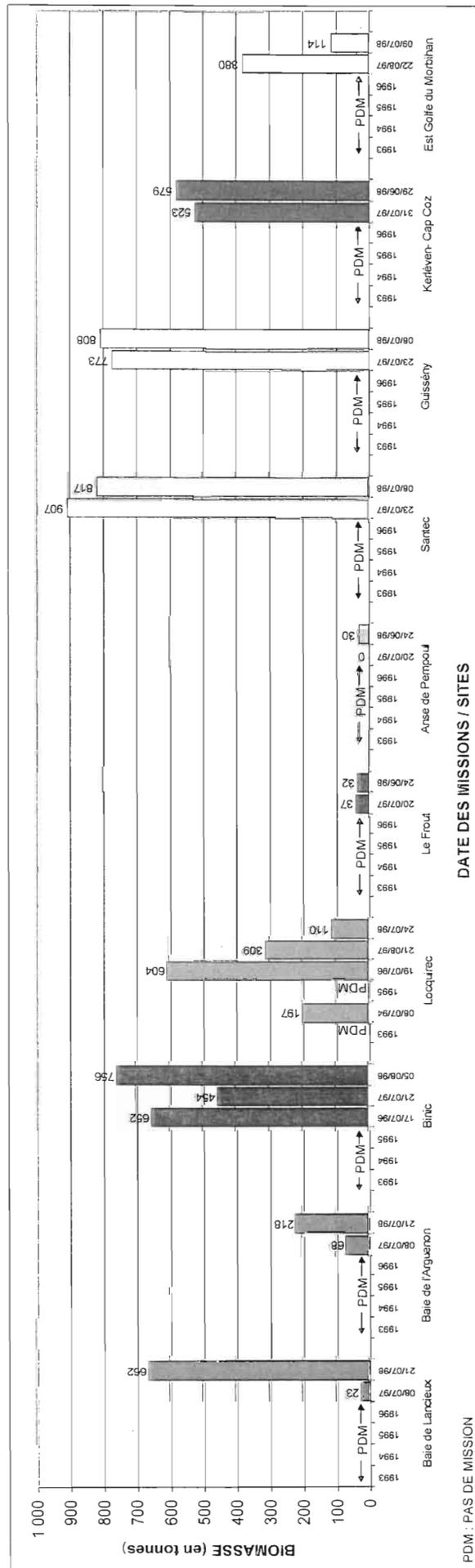


Figure 9 Comparaison interannuelle de la biomasse d'algues vertes sur les sites où les quantités d'ulves sont inférieures à 1 000 tonnes

CEVA/IFREMER (inventaire sites_MV; décembre 1998)

Les indices 1998 sont en diminution quasi générale par rapport à ceux de 1997, de façon plus ou moins accusée selon les sites. En baie de Lancier, la valeur de 1998 est cependant très supérieure à celle de 1997. Comme dit plus haut, il est probable qu'avec la baie de l'Arguenon ce site constitue une unité du point de vue des marées vertes. Le calcul de cet indice en groupant ces deux baies donne des valeurs très voisines (2,2 en 1998 et 1,8 en 1997). Les baies de la Fresnaye et de Lannion restent des sites à fort "rendement", quoiqu'en légère diminution. Douarnenez¹ est en très légère diminution. En revanche, Saint-Brieuc, Locquirec et la Forêt voient leur indice diminuer fortement, sans raison apparente.

Dans cet ensemble, plusieurs sites confirment d'une année sur l'autre leur aptitude relativement bonne à transformer le flux d'azote en ulves. Il s'agit, logiquement, des sites où les marées vertes se sont manifestées le plus tôt historiquement. Néanmoins, il faut garder à l'esprit que pour, beaucoup de sites, l'indice repose sur les volumes ramassés, dont on a vu plus haut les sources de variation importante.

¹ Le chiffre 1997, inscrit au précédent rapport, était sous-estimé suite à une confusion entre flux de nitrate et d'azote.

CONCLUSION

L'inventaire 1998 des marées vertes sur les côtes bretonnes fait suite à celui de 1997. Il a été réalisé selon le même schéma méthodologique, permettant la comparaison des deux années.

Les conditions climatiques respectives ont été mises en parallèle. Elles montrent que les précipitations entre mars et juillet 1997 sont déficitaires par rapport aux moyennes interannuelles disponibles, alors qu'elles sont excédentaires en 1998, pour la même période. En restreignant la période considérée à avril-juin, l'écart est presque semblable. Le contraste entre le rayonnement des deux années est évidemment inverse, mais moins grand. La complexité de l'influence du vent sur le déplacement et l'échouage / déséchouage des ulves justifie une étude particulière. Elle pourrait être basée sur l'observation quotidienne d'un ou plusieurs sites à ce sujet.

En 1998 les concentrations de nitrate, et surtout les débits printaniers, sont supérieurs à ceux de l'année précédente. Le flux moyen d'azote est environ 3,3 fois plus élevé en 1998 qu'en 1997.

Sur l'ensemble de la côte bretonne, le nombre total de sites atteints par des proliférations d'algues vertes est en nette augmentation. Les ulves ramassées par les municipalités entre mi-juin et mi-septembre sur les sites fortement touchés totalisent 38 100 m³ en 1998, contre 42 800 en 1997. En comptabilisant la totalité des ramassages de l'année 98 sur tous les sites, ce sont 51 200 m³ qui ont été collectés. Un certain nombre de biais s'attachent cependant à ce type de données.

Les ulves quantifiées sur l'estran et dans les premières vagues représentent 21 000 t en 1998, contre 19 900 t en 1997. La forte augmentation de flux entre les deux années ne se traduit apparemment que par une faible augmentation des tonnages observés.

Les indices relatifs de sensibilité des sites (c'est-à-dire de leur rendement de transformation de l'azote en ulves) sont en 1998 inférieurs à ceux de 1997. Mais, un certain nombre de sites à rendement relatif élevé sont conservés : baies de la Fresnaye, Lannion et Douarnenez. Par ailleurs, il s'avère que les baies de Lancieux et de l'Arguenon sont probablement à regrouper du point de vue de l'eutrophisation, du fait de la facilité de communication entre elles à basse mer. Il en est de même des différentes parties de la baie de Douarnenez.

Dans cette baie de Douarnenez, un stock important d'ulves a été mis en évidence en dehors de la frange littorale, entre 2 et 18 m de profondeur. Des indices tendent à prouver l'existence d'un tel stock en d'autres sites depuis quelques années. Il est très probable, qu'avec l'augmentation du nombre de sites touchés, il s'agisse d'une forme d'extension de la prolifération des macroalgues vertes. C'est un volet qu'il sera sans doute nécessaire d'approfondir à l'avenir.

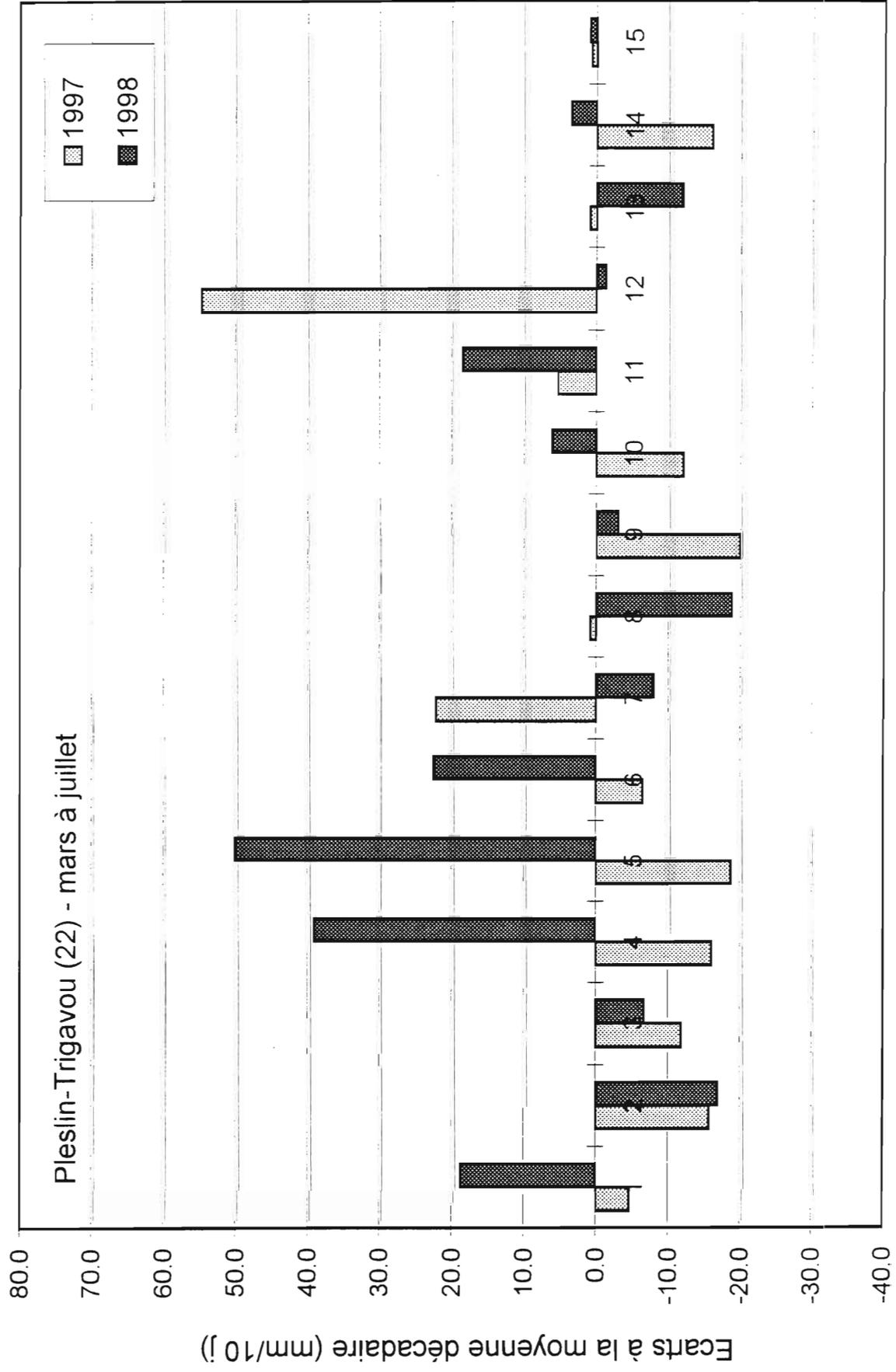
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

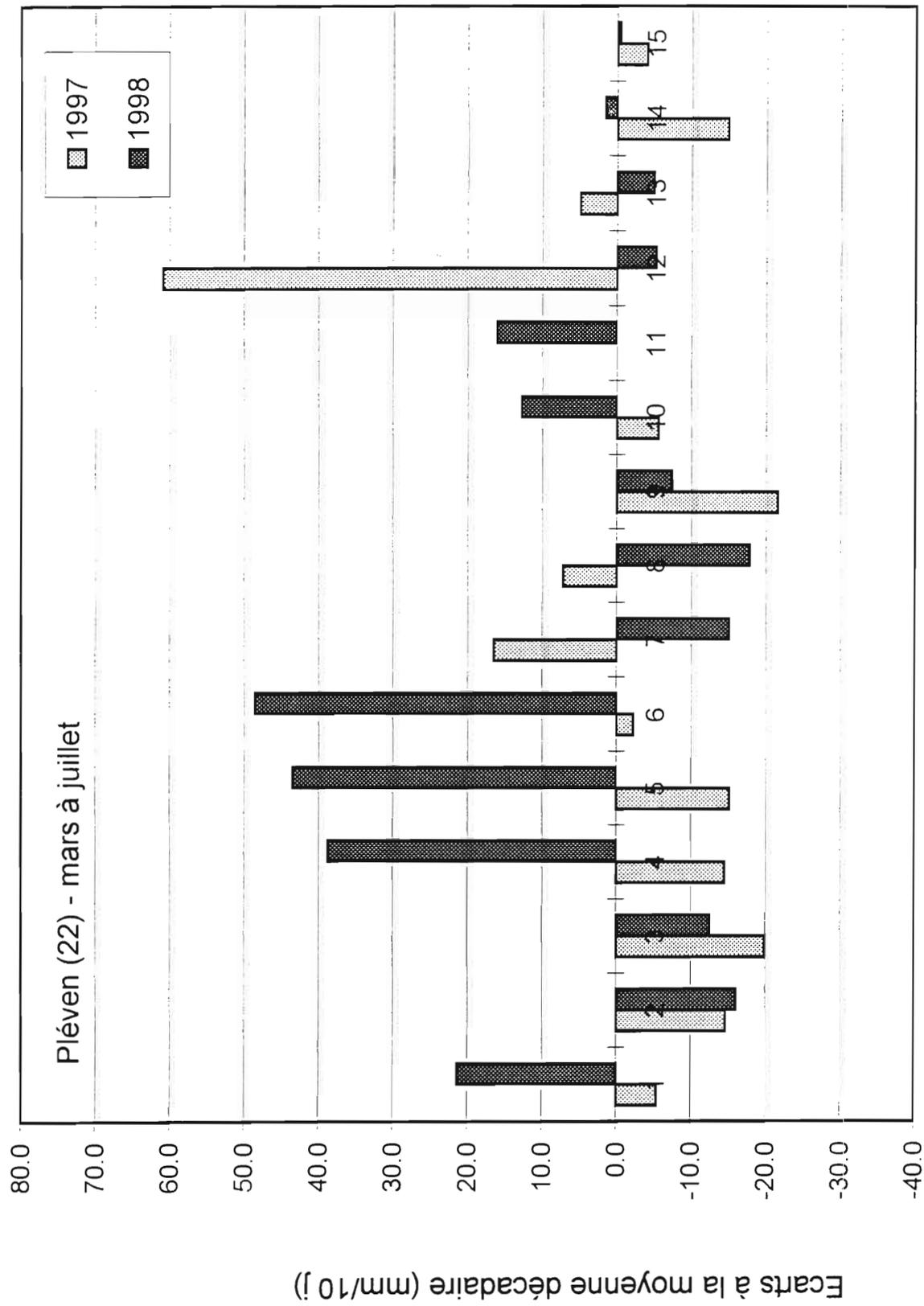
- CEVA, 1998a. Étude d'inventaire des sites de prolifération d'algues vertes sur le littoral breton. Rapport de contrat du CEVA à l'IFREMER, 32 p. + annexes.
- CEVA, 1998b. Quantification des biomasses d'algues vertes en place au sud-est de la baie de Douarnenez (mission réalisée le 16 juin 1998). Rapport de contrat du CEVA à l'IFREMER, 11 p. + annexes.
- Coïc, D., Le Niliot, P., 1998. Suivi des flux d'azote responsables de marées vertes dans divers secteurs de Bretagne au cours du printemps-été 1998. Rapport de contrat MAIA Infosciences à l'IFREMER, 82 p. + annexes.
- EEL, 1998. Suivi des flux de nitrate en baie de Douarnenez au cours du printemps-été 1998. Rapport à l'IFREMER (CPER Bretagne 1994-1998), 20 p. + annexes
- Louineau, I., 1985. Les marées vertes sur le littoral breton : description (baie de Lannion), évolution, conséquences socio-économiques. Mém. de stage, M.S.T. aménagement et mise en valeur des régions (Rennes I), 85 p. + annexes.
- Ménesguen, A. et Piriou, J.-Y., 1995. Nitrogen loadings and macroalgal (*Ulva sp.*) mass accumulation in Brittany (France). *Ophelia*, 42: 227-237.
- Merceron, M., 1998. Inventaire des ulves en Bretagne – Année 1997. Rapport de synthèse. Rapport de l'IFREMER à l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, R. Int. DEL/98/.02/Brest, 18 p. + annexes.
- Piriou, J.Y., Ménesguen, A., Salomon, J.C., 1991. Les marées vertes à ulves : conditions nécessaires, évolution et comparaison de sites. - *In* M. Elliot & Ducrotoy J.P. (eds) : Estuaries and coasts : spatial and temporal intercomparisons, p. 117-122. Olsen & Olsen, Fredensborg, Denmark.
- Piriou, J.Y., Mérot, P., Jegou, A.M., Garreau, P., Yoni, C., Watremez, P., Urvois, M., Hallégouet, B., Arousseau, P., Monbet, Y., Cann, C., 1993. Cartographie des zones sensibles à l'eutrophisation, cas des côtes bretonnes. Rapport de synthèse. Rapport IFREMER DEL 93.25, déc. 1993, sur contrats avec le Conseil Régional de Bretagne et la CEE, 80 p. + cartes.

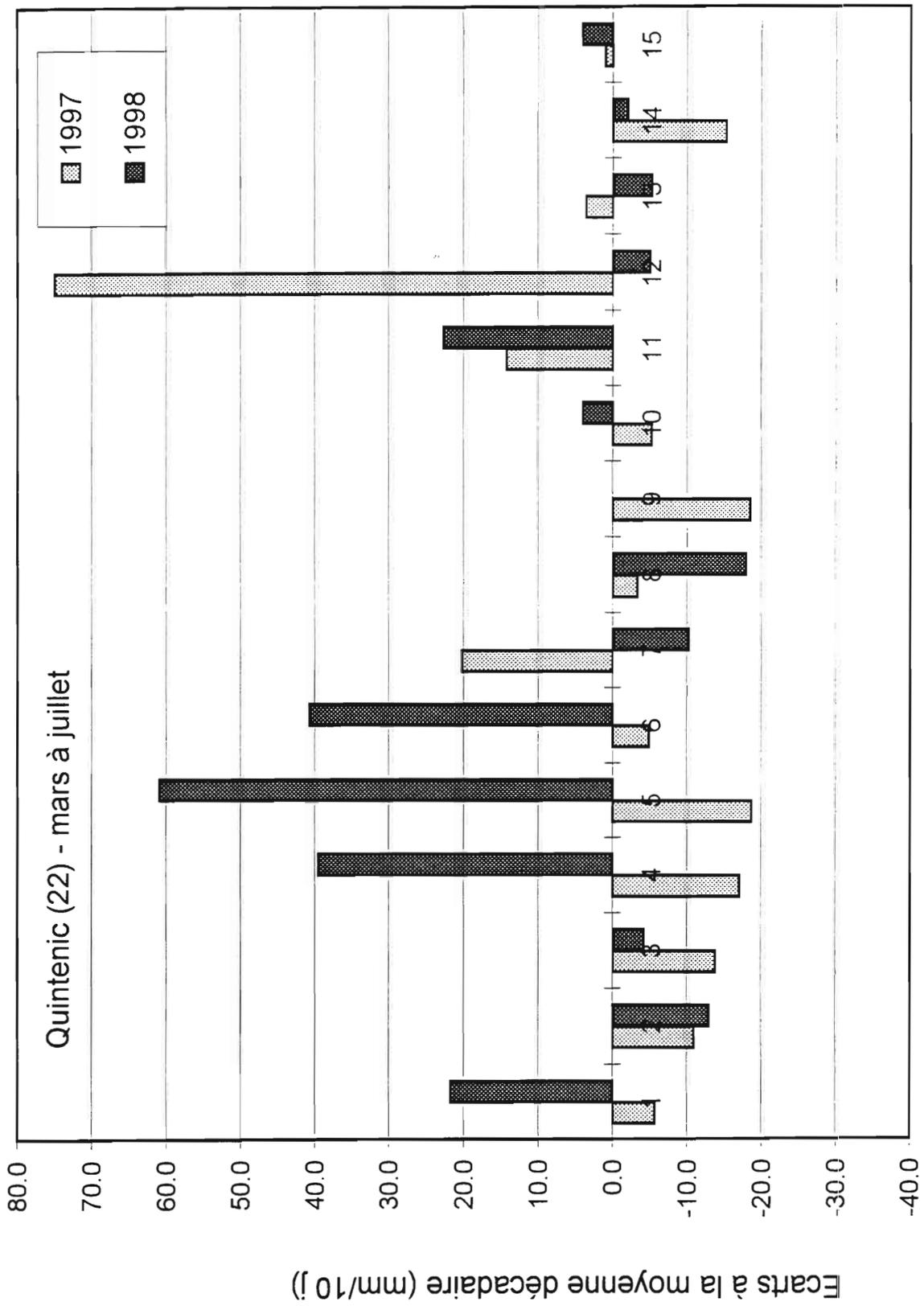


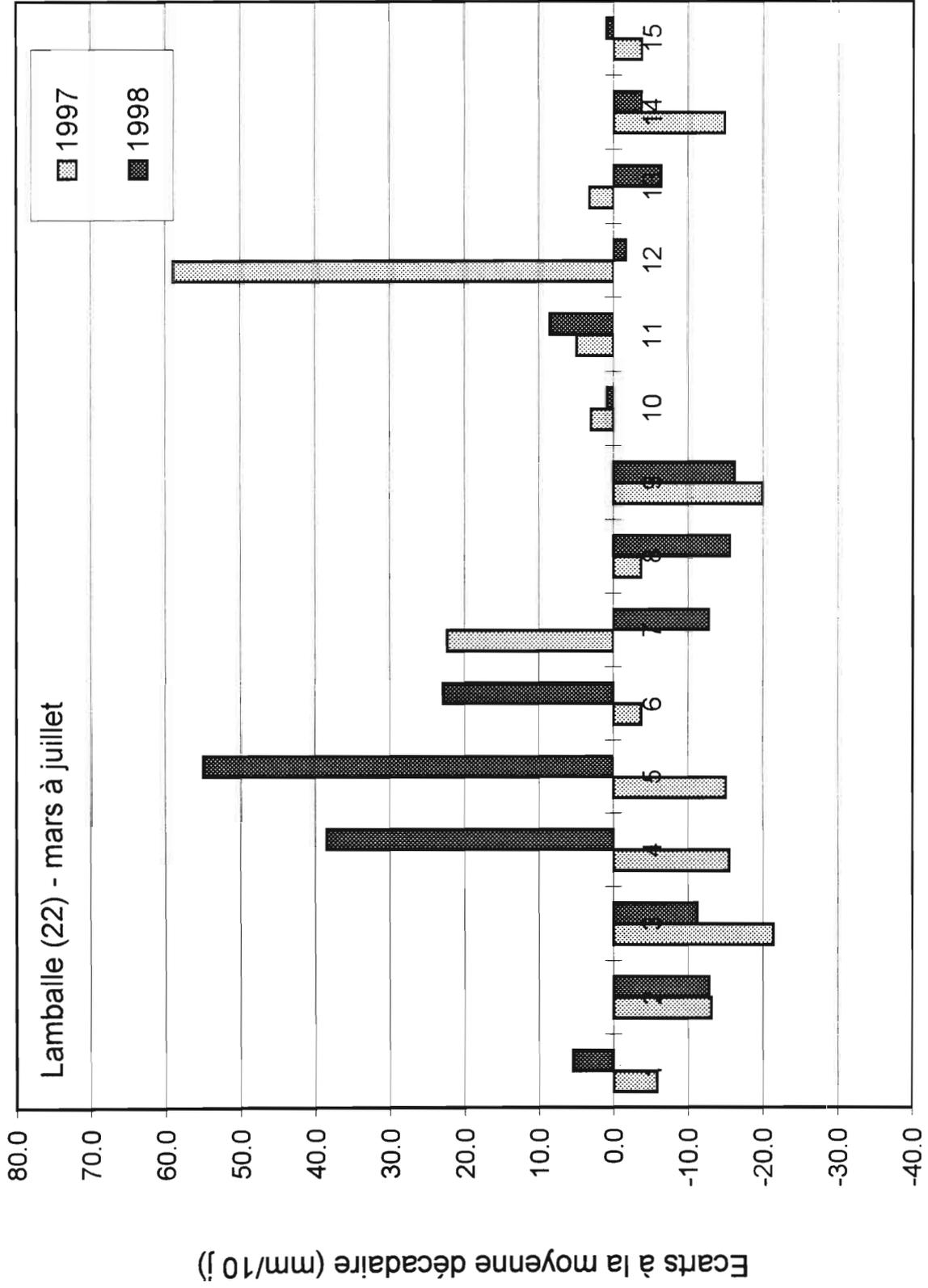
ANNEXE 1

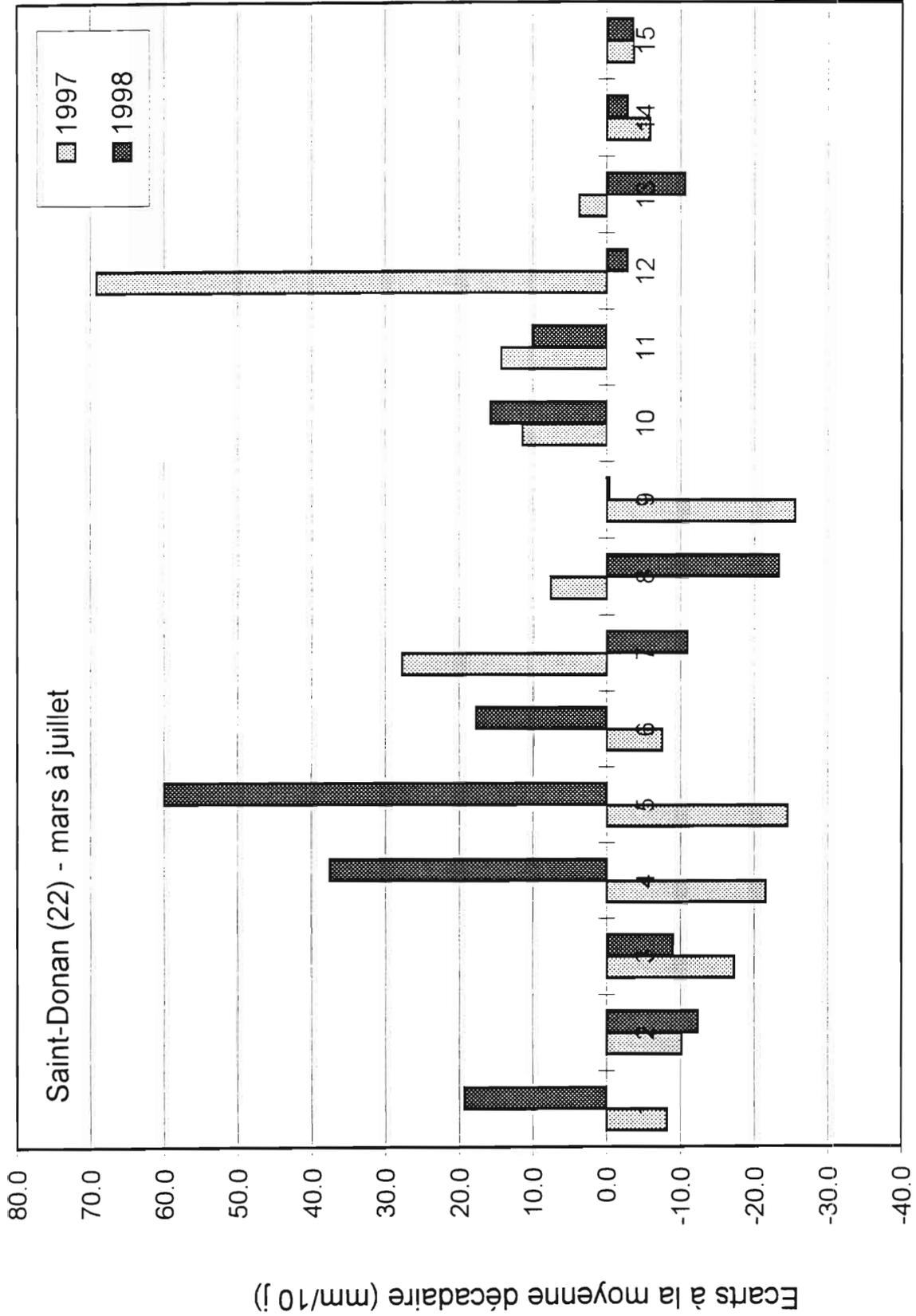
Données pluviométriques

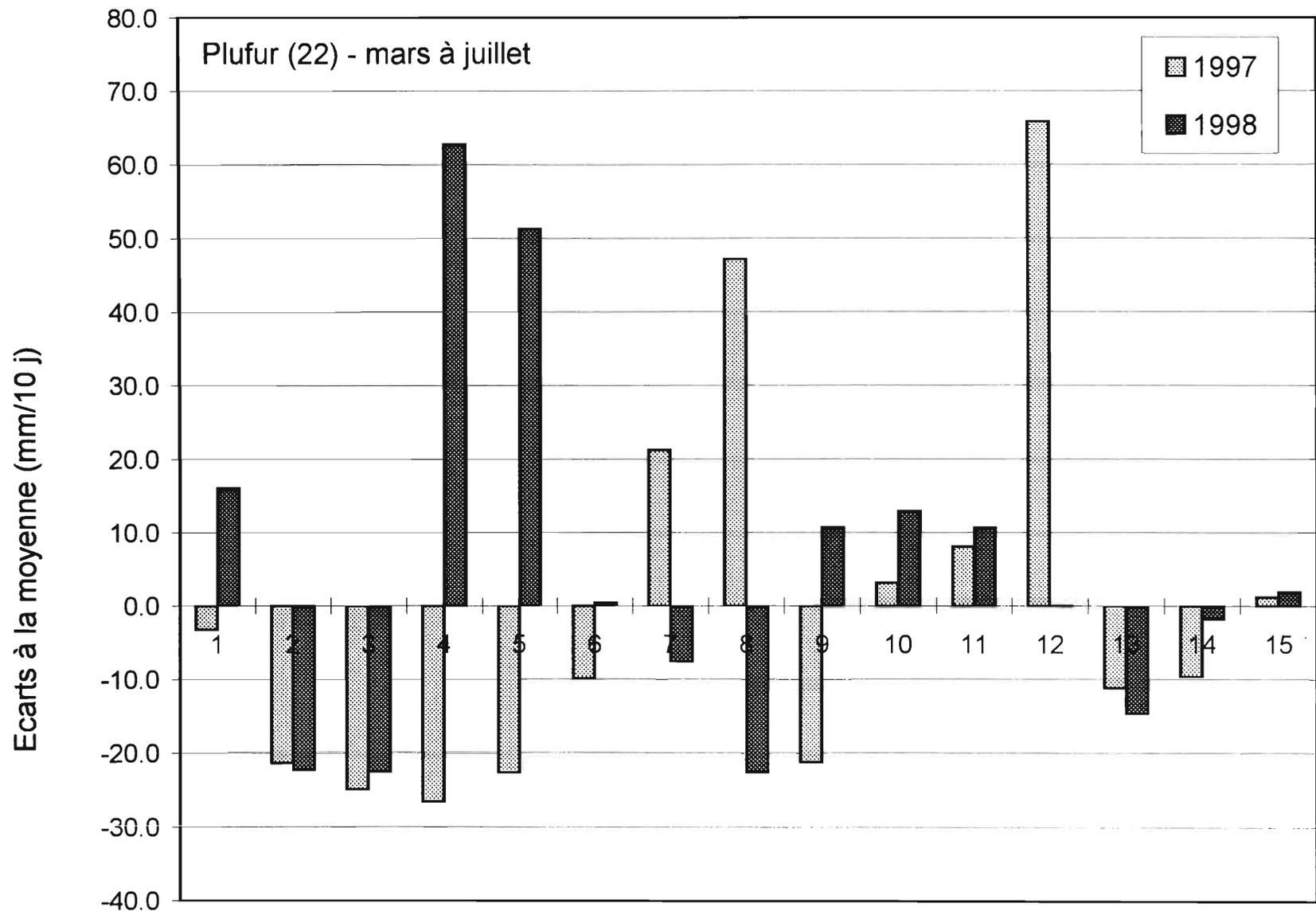


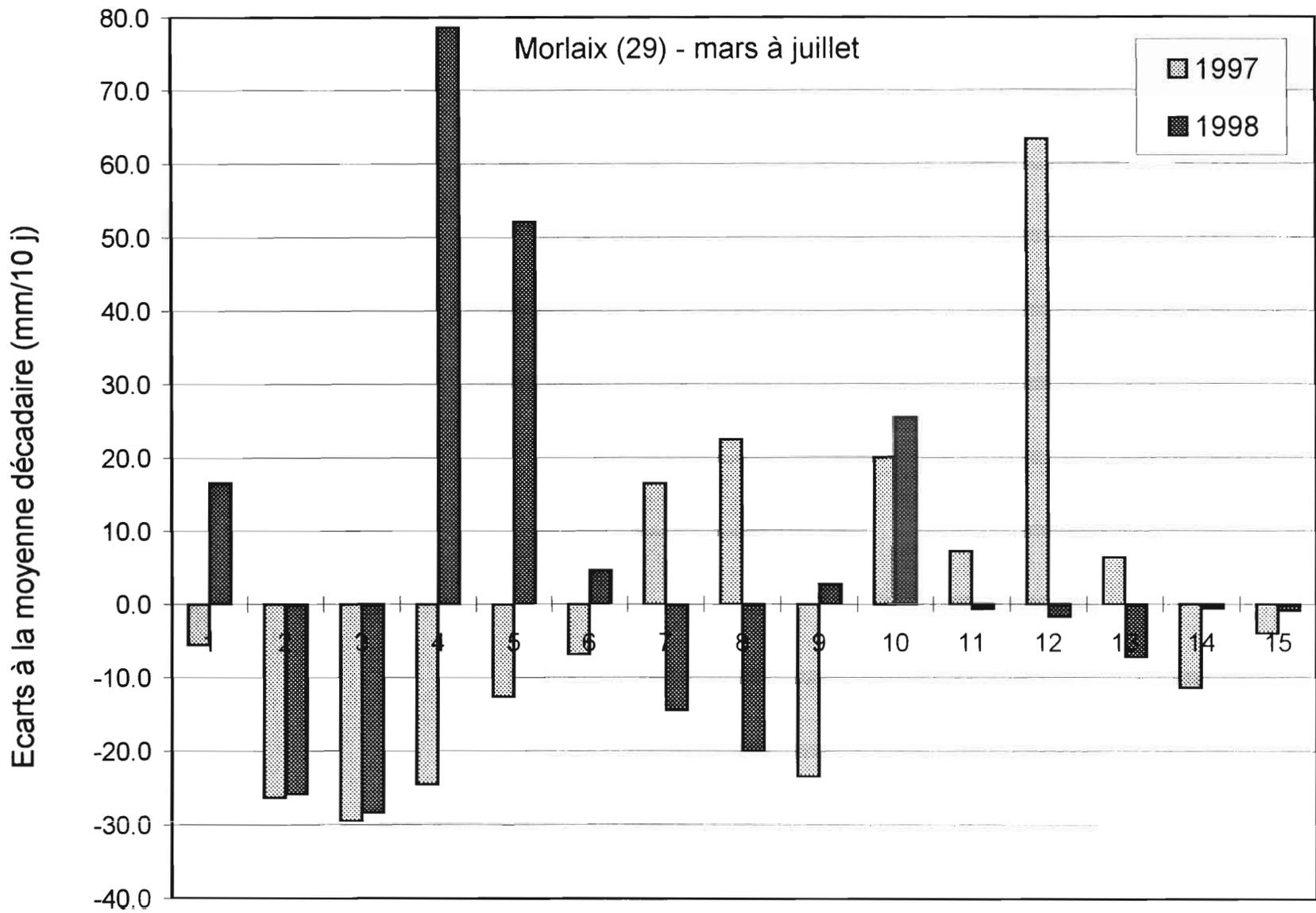


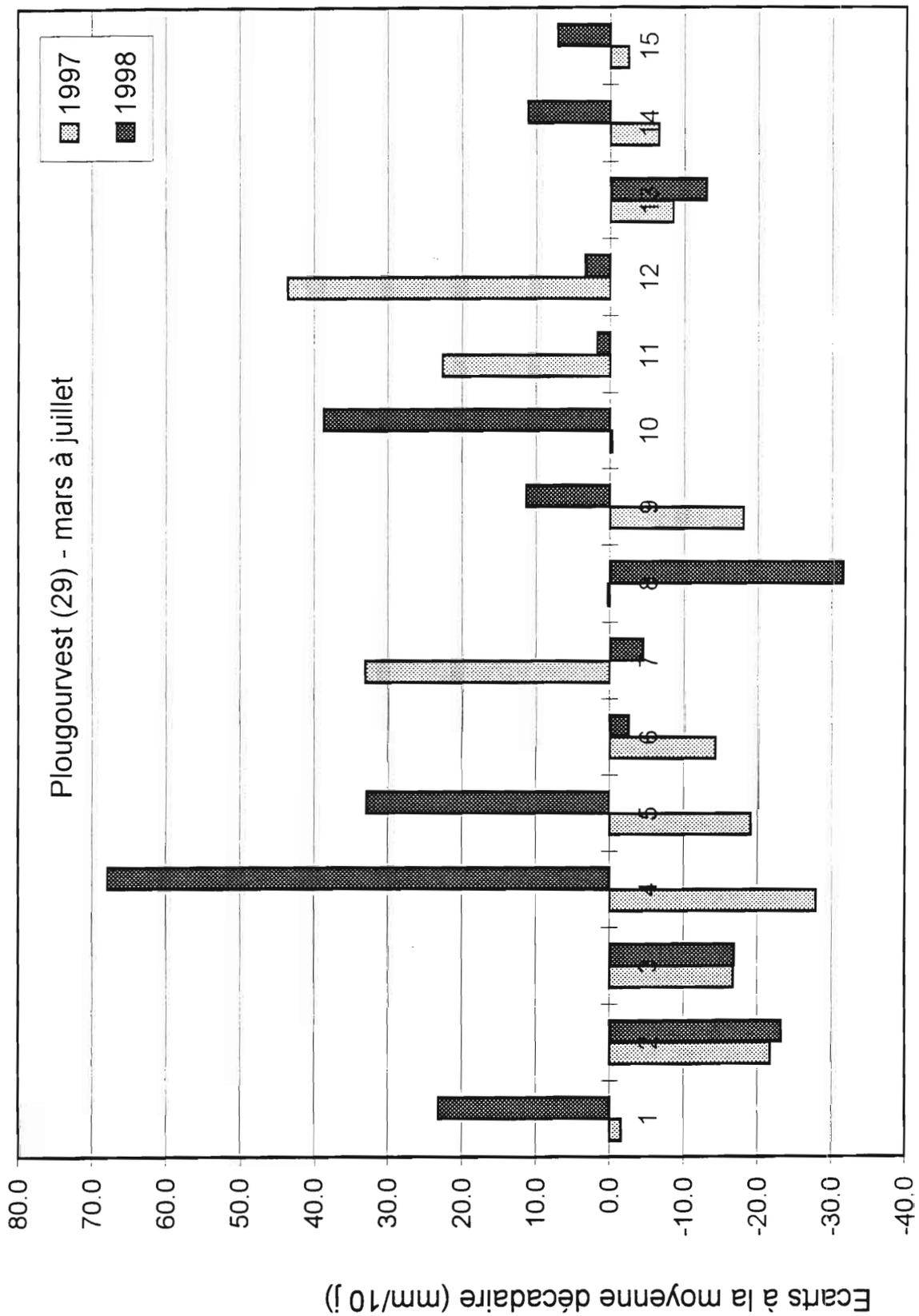


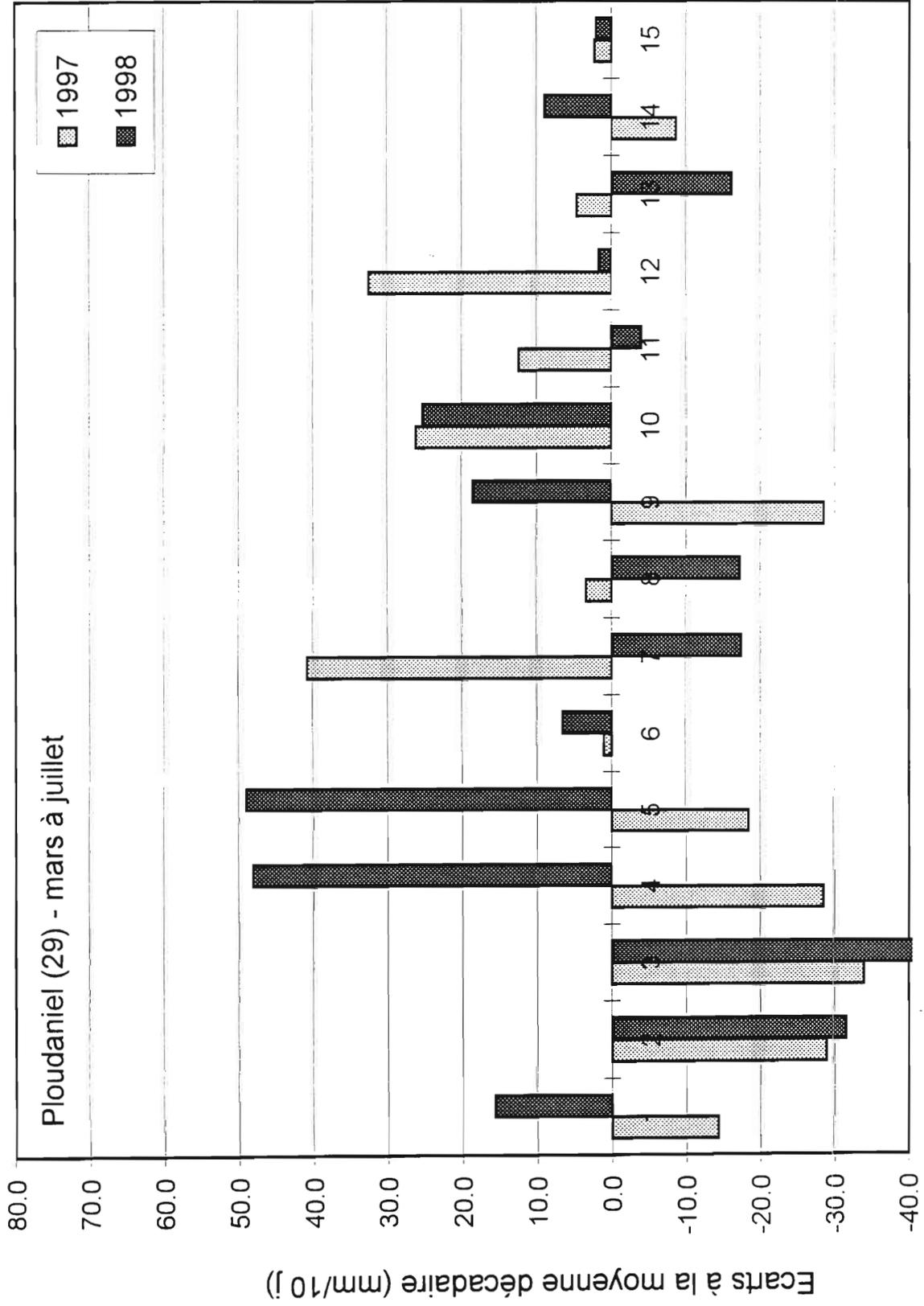


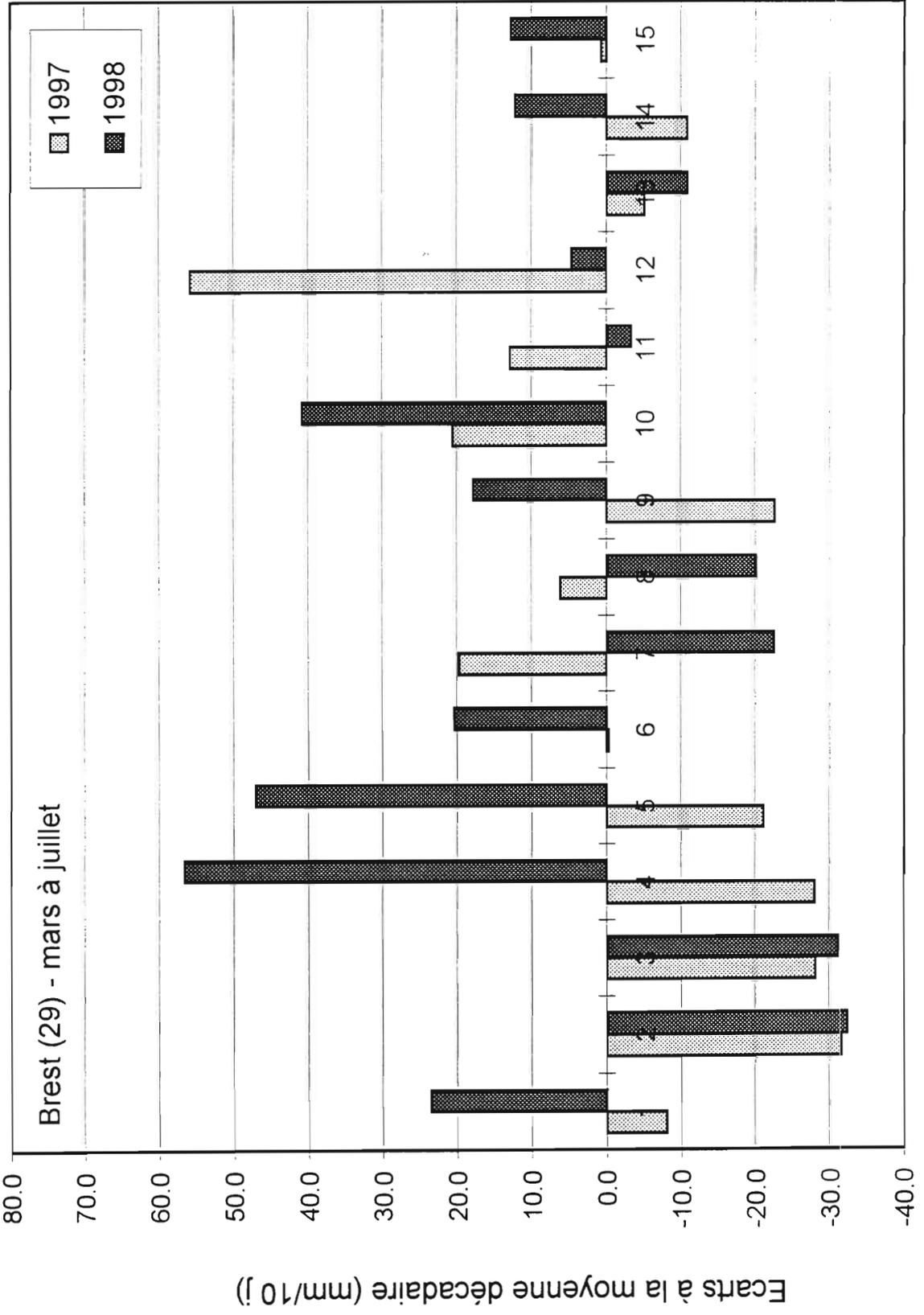


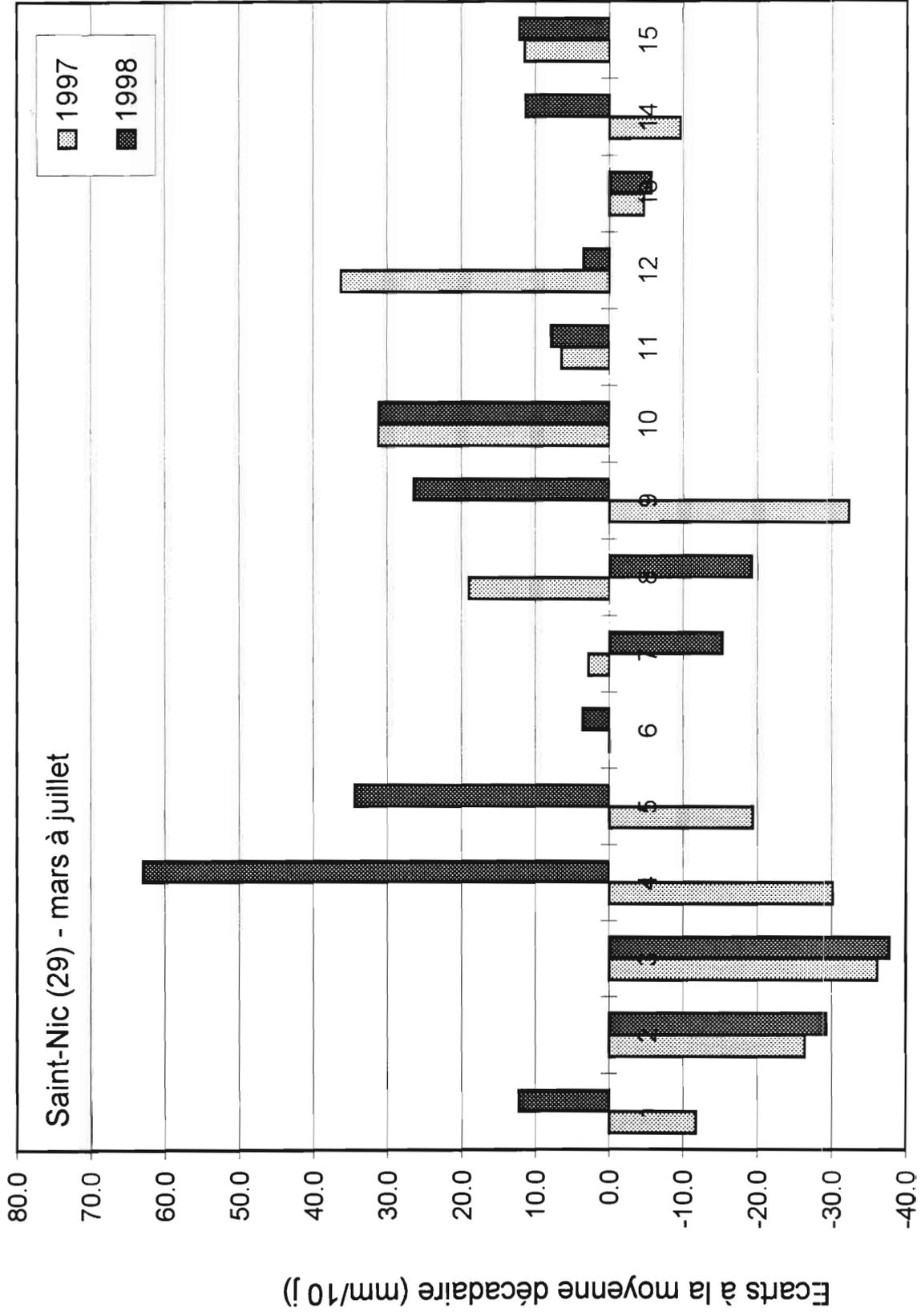


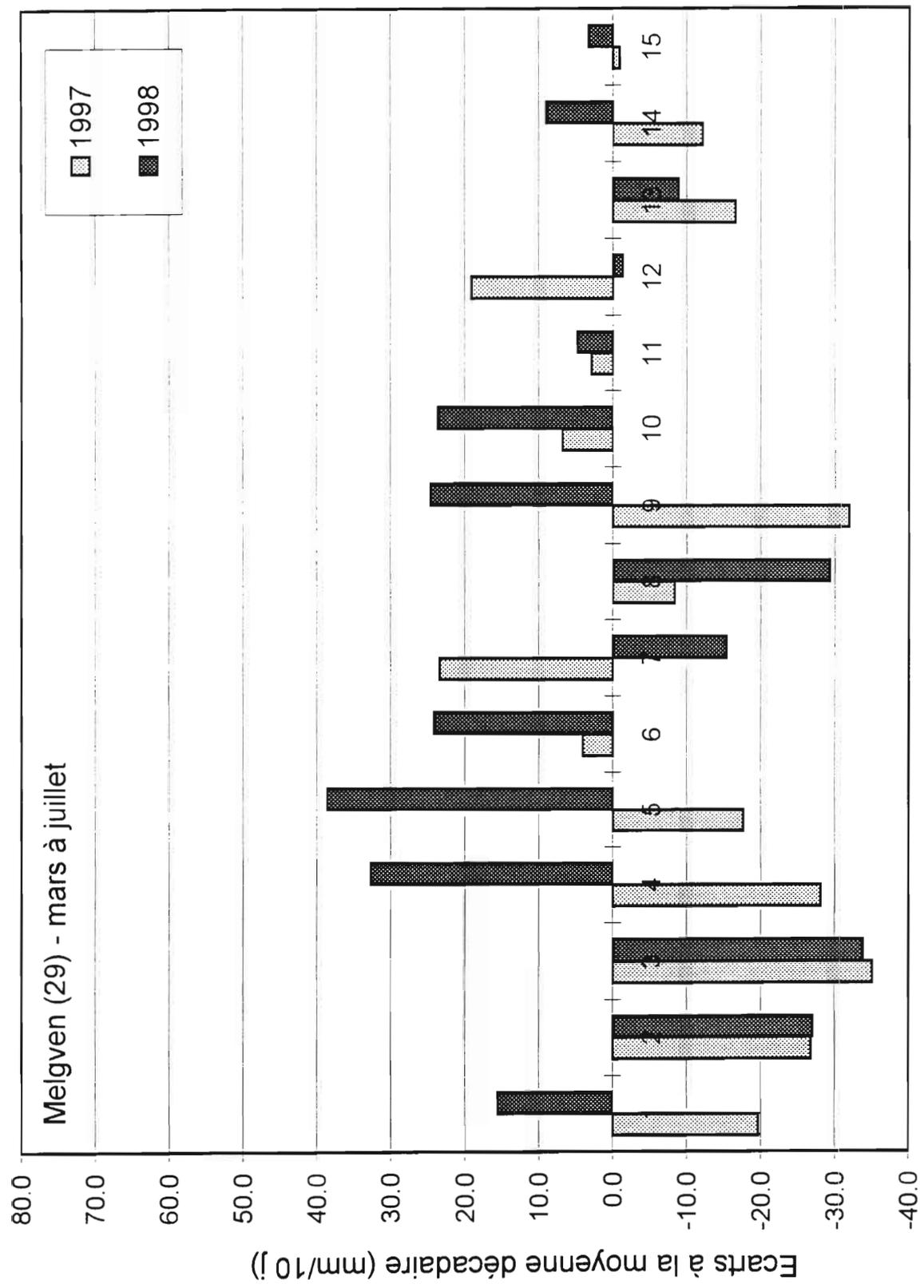


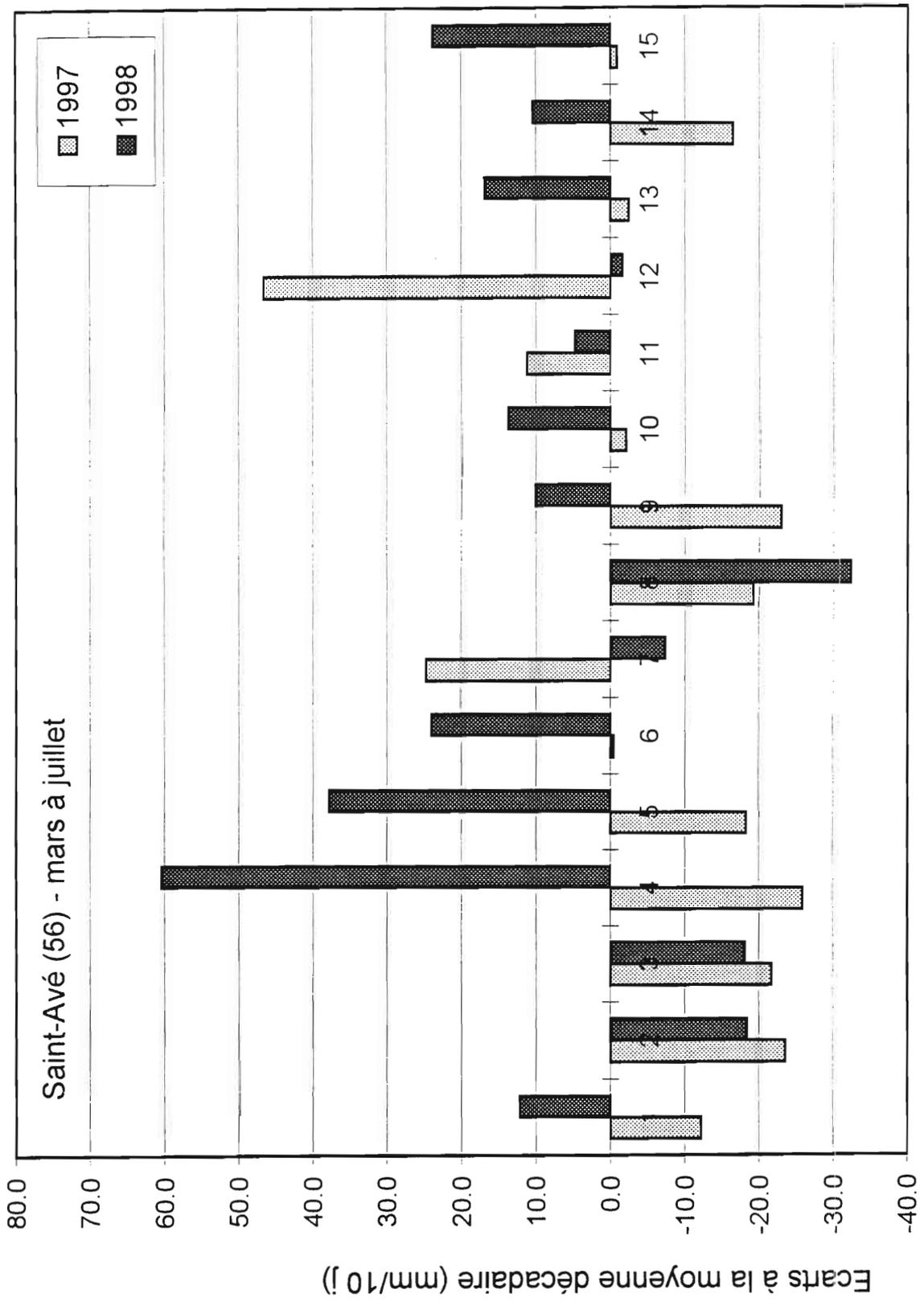








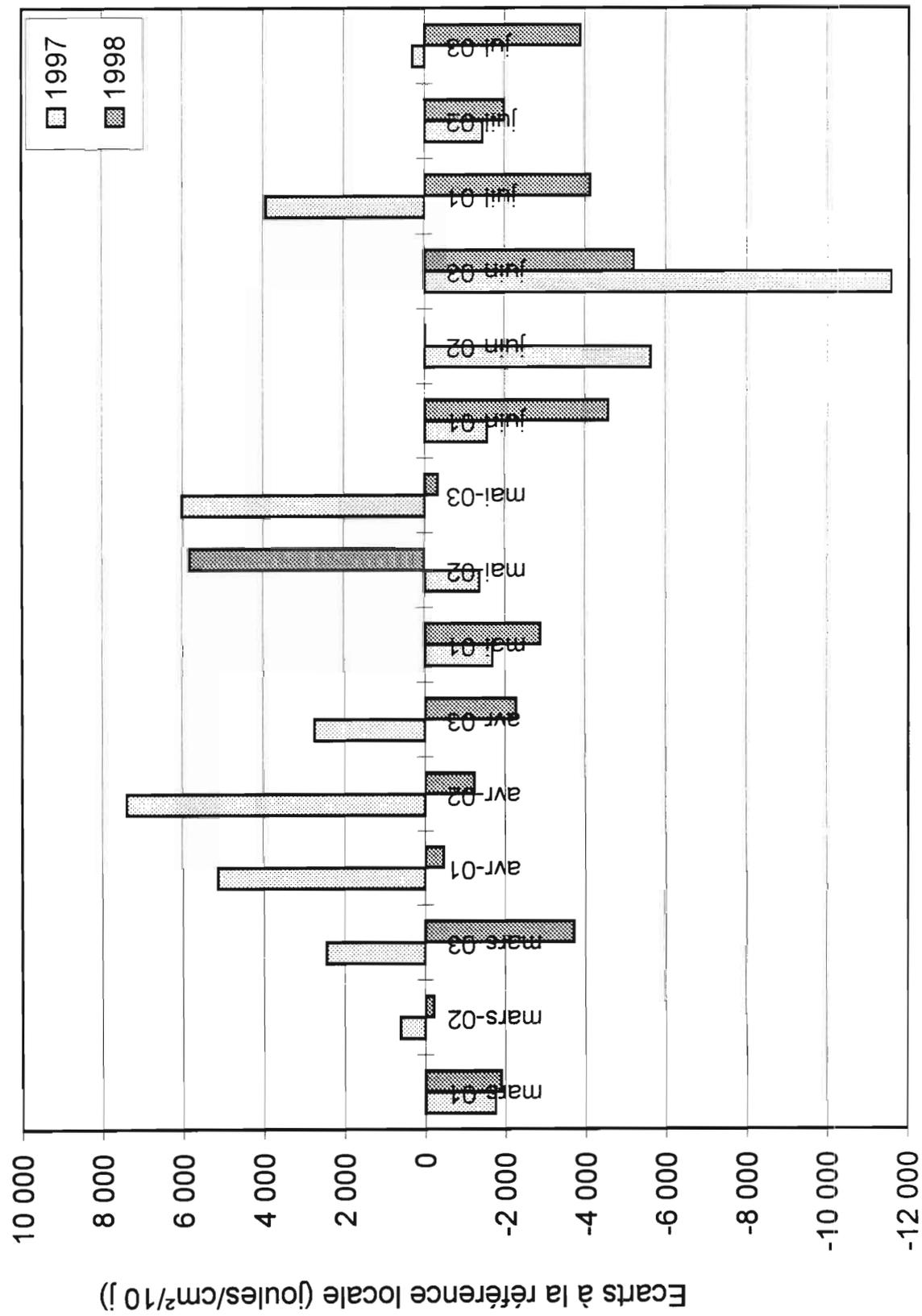




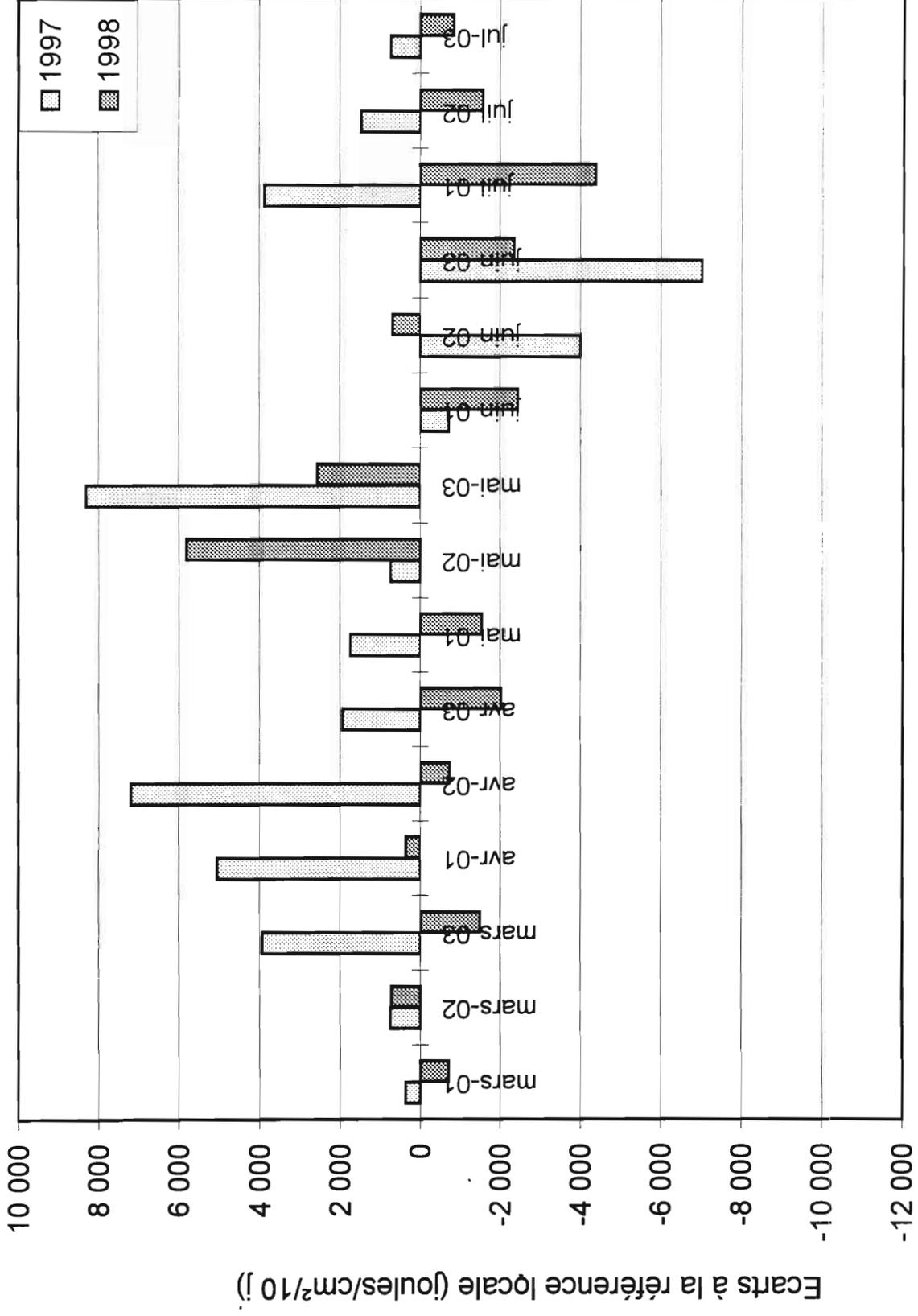
ANNEXE 2

Données de rayonnement

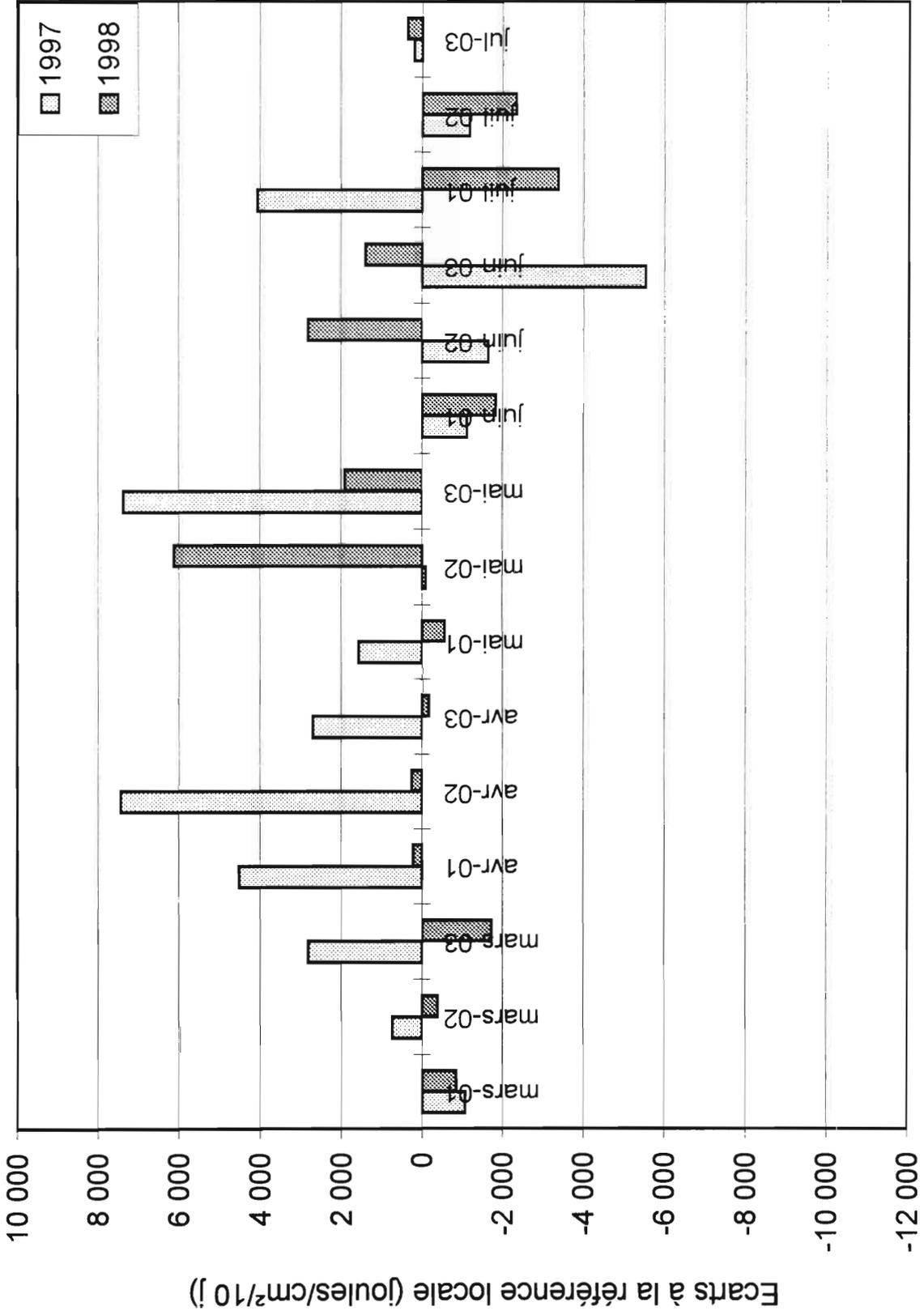
Rayonnement à Quintenic (mars à juillet)



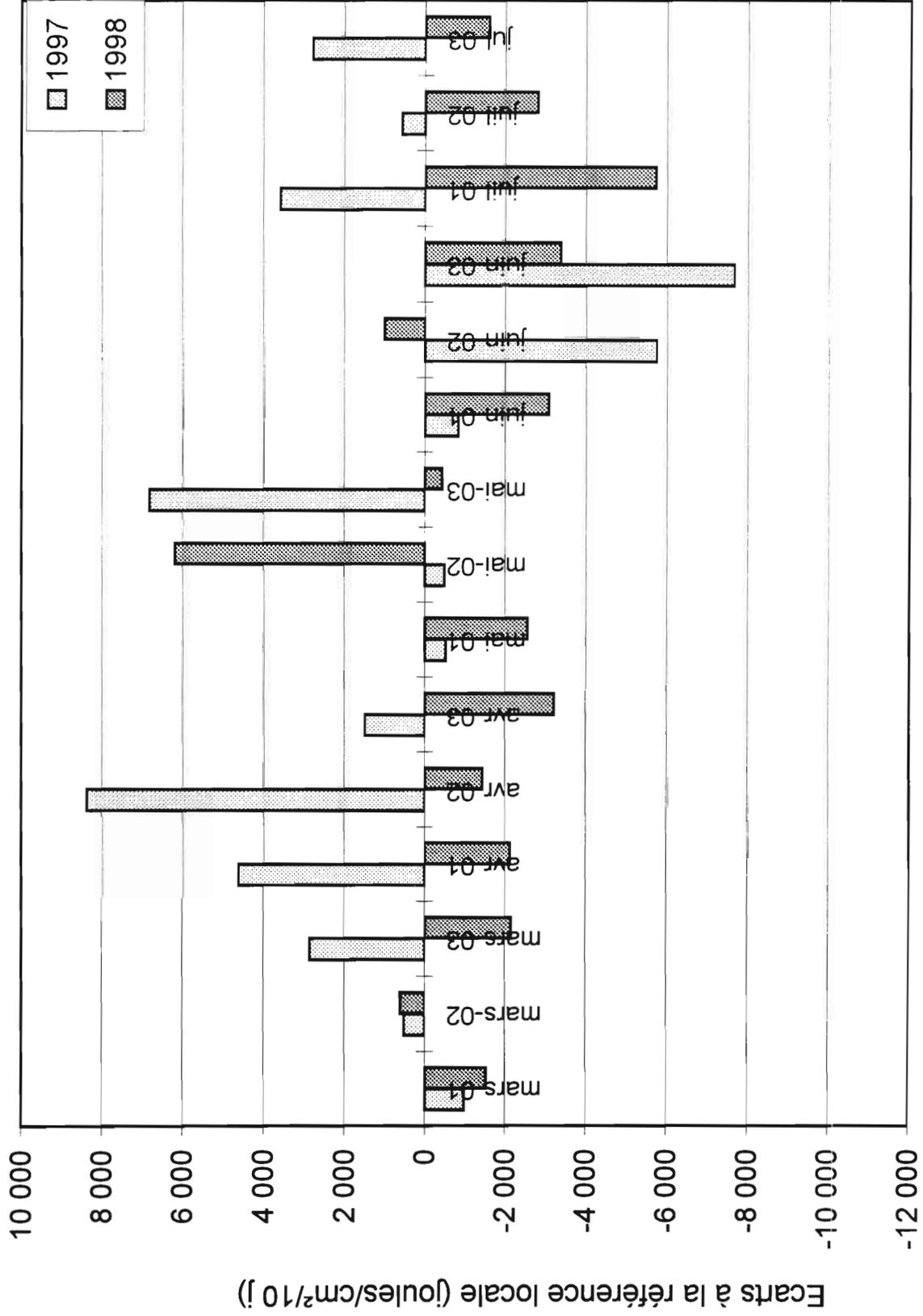
Rayonnement à Sibiri (mars à juillet)



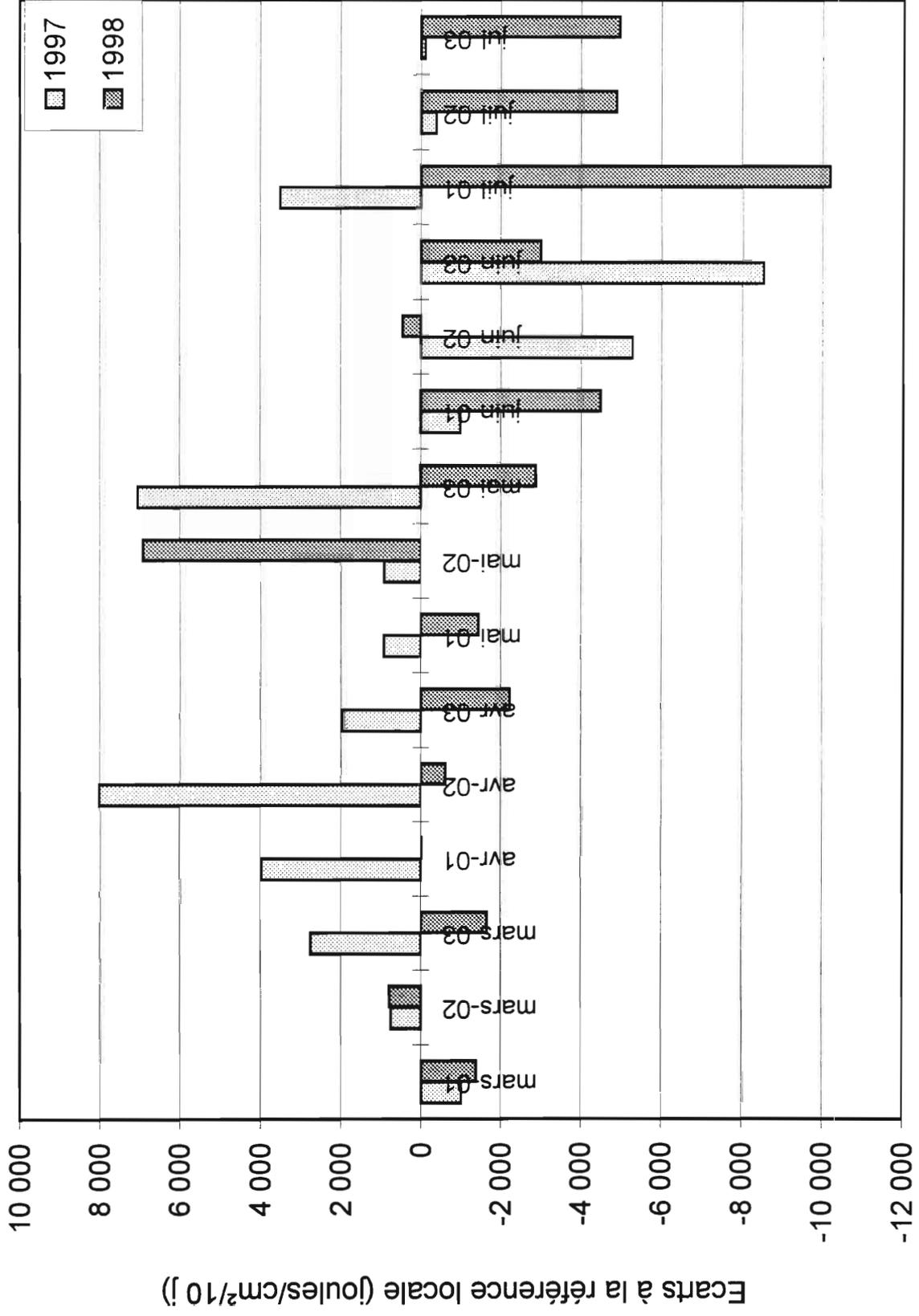
Rayonnement à Plouguin (mars à juillet)



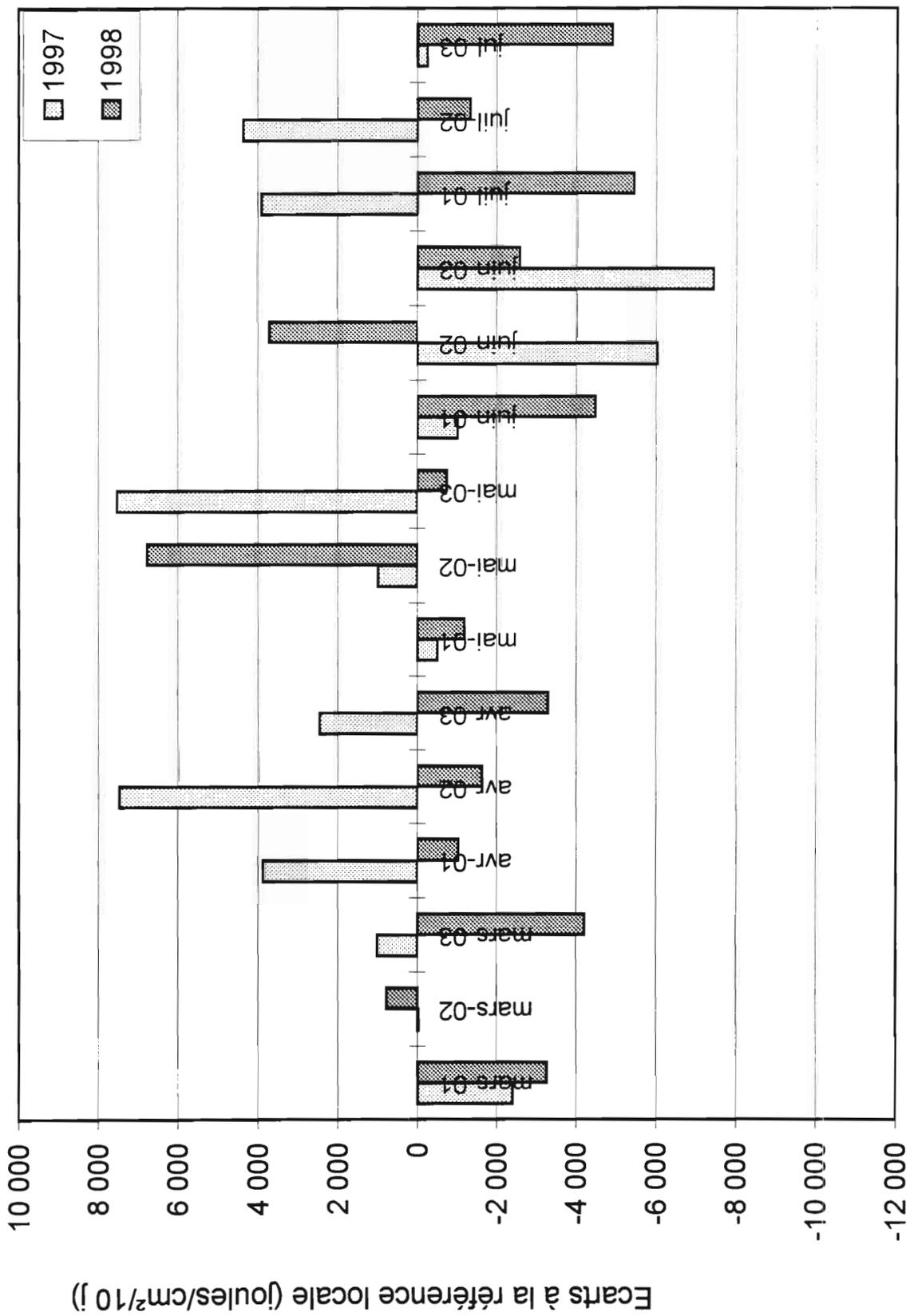
Rayonnement à Guipavas (mars à juillet)



Rayonnement à Saint-Ségal (mars à juillet)



Rayonnement à Quimperlé (mars à juillet)



Rayonnement à Auray (mars à juillet)

