

CHIMIOTAXONOMIE ET MARQUEURS CHIMIQUES DANS LES ALGUES BRUNES.

MAX PELLEGRINI, ROBERT VALLS, LILIANE PELLEGRINI

Abstract

Our paper is about the analysis of chemical criterions in the study of the chemotaxonomy of Cystoseiraceae. We have analysed lipidic extracts of the genera *Cystoseira* and *Bifurcaria* collected from different places. We remind the qualitative and /or quantitative variations of the composition of the lipidic extract, depending on the season and/or the place of collecting. Diterpenic and meroditerpenic molecules which have been extracted from the genus *Cystoseira*, can be grouped together leading to four typical skeletons. In the same way, the genus *Dictyota* can be characterized by three typical skeletons. Chemistry as morphology, lead to classifications which are similar but not identical. We propose a different way which consists in associating a molecule to a species allowing to characterize this one. The molecule is then called chemical marker and represents the modern definition of the species.

Introduction

Les résultats présentés sont le fruit d'une étroite collaboration entre biologistes et chimistes puisque le terme chimiotaxonomie les regroupe (PELLEGRINI & al., 1993; VALLS, MESGUICHE & al., 1993; MESGUICHE & al., 1994; VALLS & al., 1994; MESGUICHE & al., 1995; VALLS, MESGUICHE & al., 1995; VALLS, PIOVETTI & al., 1995). Généralement, le biologiste identifie les algues, le chimiste étudie les composés qu'elles renferment et c'est ensemble qu'ils interprètent les résultats.

Avant de montrer le bénéfice de cette collaboration, il est indispensable de rappeler la définition de la taxonomie et de ces principaux concepts.

La taxonomie est la science des lois de la classification des formes vivantes. Les multiples concepts qui ont animé les polémiques entre naturalistes, biologistes et même philosophes résultent du choix et de la caractérisation de l'unité de base qui a été soit l'espèce, soit l'individu.

Trois concepts ont dominé ces polémiques: 1, dans son expression la plus élémentaire, l'unité de base est l'individu. Si cette première expression de la taxonomie est peu valorisante pour le biologiste, elle a pourtant été le support du concept nominaliste sous l'impulsion d'Occam (MAYR, 1974). Pour celui-ci et ses successeurs les espèces n'existent pas dans la nature mais sont des concepts mentaux créés par l'homme pour se référer à de grands nombres d'individus. 2, dans son expression la plus ancienne, l'unité de base qui est l'espèce est essentiellement définie sur le type morphologique. Ebauchée par Platon et Aristote ce deuxième concept, dit morphologique, a été développé par Linné (MAYR, 1974) et a prévalu jusqu'au XIX siècle, début du vingtième. La systématique actuelle en est encore fortement imprégnée. 3, dans son expression la plus moderne l'unité de base est l'espèce définie

génétiqnement ; les individus qu'elle représente forment des populations reproductives. Actuellement, l'espèce est une unité génétique caractérisée par un pool de gènes dont chaque individu en possède une partie. L'espèce est aussi une unité écologique qui interagit en tant qu'unité avec les autres espèces qui partagent son environnement.

En dépit d'une très large acceptation de ce concept biologique, le taxonomiste, encore empreint de différenciations morphologiques rencontre de multiples difficultés qu'il résout en créant des espèces par manque d'informations sur le degré de variabilité de l'espèce. Pour tenter d'apporter des solutions à ce problème, le plus efficace est de corrélér les critères morphologiques à d'autres critères biologiques tels que : la taille, la couleur, la structure interne, la physiologie, les constituants chimiques, l'interfécondité, l'isolement reproductif, les exigences écologiques et bien d'autres critères.

Résultats et discussion

C'est donc en nous basant sur ce dernier concept biologique que nous avons abordé l'analyse de critères chimiques pour tenter d'apporter notre contribution à la chimiotaxonomie des Cystoseiracées. Notre attention s'est plus particulièrement portée sur le genre *Cystoseira* pour deux raisons: tout d'abord, la Méditerranée apparaît comme un lieu de prédilection pour le développement des Cystoseires. Sur les 52 espèces du genre *Cystoseira* recensées par RIBERA & al., 1992, 90% vivent en Méditerranée qui pourrait pour cela s'appeler "la Cystoseiranée". La seconde raison de notre choix est l'existence de récents travaux de chimiotaxonomie du genre *Cystoseira*, effectués par PIATTELLI (1990) et AMICO (1995), travaux qui vont permettre d'utiles comparaisons et surtout fournir matière à réflexion puisque la majorité des molécules de ce genre a été identifiée par cette équipe.

Avant d'exposer et de discuter nos propres résultats par rapport à ceux de la littérature, un bref historique des données taxonomiques du genre *Cystoseira* est nécessaire.

Le taxon *Cystoseira* a été créé en 1820 par C. Agardh qui reconnaissait 37 espèces. Depuis, de nombreux systématiseurs ont revu le genre : VALIANTE (1883), SAUVAGEAU (1912, 1920), HAMEL (1931-1939), FELDMANN (1937), ERCEGOVIC (1952), ZINOVA (1967), GERLOFF & NIZAMUDDIN (1975), GIACCONE (1978), RIBERA & al. (1992), pour ne citer que les plus importants.

Au cours de ces 30 dernières années, des essais de regroupements ont été proposés par GUERN (1962), ROBERTS (1978), AMICO & al. (1985) en se basant sur des critères embryologiques, morphologiques et sur l'analyse numérique. Toutefois si l'on se réfère au recensement effectué par RIBERA & al. (1992), plus de la moitié des espèces du genre *Cystoseira* reste non classée.

De notre côté, nous avons analysé les fractions lipidiques des genres *Cystoseira* et *Bifurcaria* provenant d'une large répartition géographique. Les espèces du genre *Cystoseira* ont été récoltées en de nombreux points des côtes de la Méditerranée (FRANCISCO & al., 1985; VALLS, MESGUICHE & al., 1993, 1996; MESGUICHE & al., 1995; PRAUD & al., 1995; et des côtes Atlantiques du Maroc (VALLS, PIOVETTI & al. 1993)

et de la France (FRANCISCO & al., 1985). Les récoltes de *Bifurcaria* proviennent des côtes Atlantiques du Maroc et de la France (VALLS & al., 1986; VALLS, BANAIGS & al., 1992, 1993; VALLS, BANAIGS, PIOVETTI & ZERZOUF, 1993; VALLS, PIOVETTI & al., 1992; SEMMAK & al., 1988; MESGUICHE & al., 1994).

Les trente molécules que nous avons identifiées à partir de ces deux genres associées aux données de la littérature forment, à première vue, un indescriptible chaos qui apparaît plus adapté à un concept nominaliste qu'à un concept évolutionniste. De plus, la difficulté que l'on rencontre pour proposer une hiérarchisation de ces molécules est accentuée par d'autres phénomènes. Il s'agit des variations saisonnières et géographiques de la composition chimique des Cystoseiracées.

L'analyse quantitative de la fraction lipidique de *Cystoseira amentacea* var. *stricta*, fait apparaître des variations saisonnières très marquées de la quantité globale d'extrait lipidique caractérisées par un maximum au cours de la période de croissance (Figure 1).

Cet extrait global est composé d'un grand nombre de composés que l'on peut visualiser en partie sur un chromatogramme obtenu par chromatographie liquide. Si l'on observe les trois chromatogrammes (Figure 2) de *C. amentacea* var. *stricta* récoltée près de Marseille (Sausset-les-pins) correspondant à des récoltes effectuées aux mois de janvier, juin et novembre, on constate qu'il existe des variations saisonnières pour les

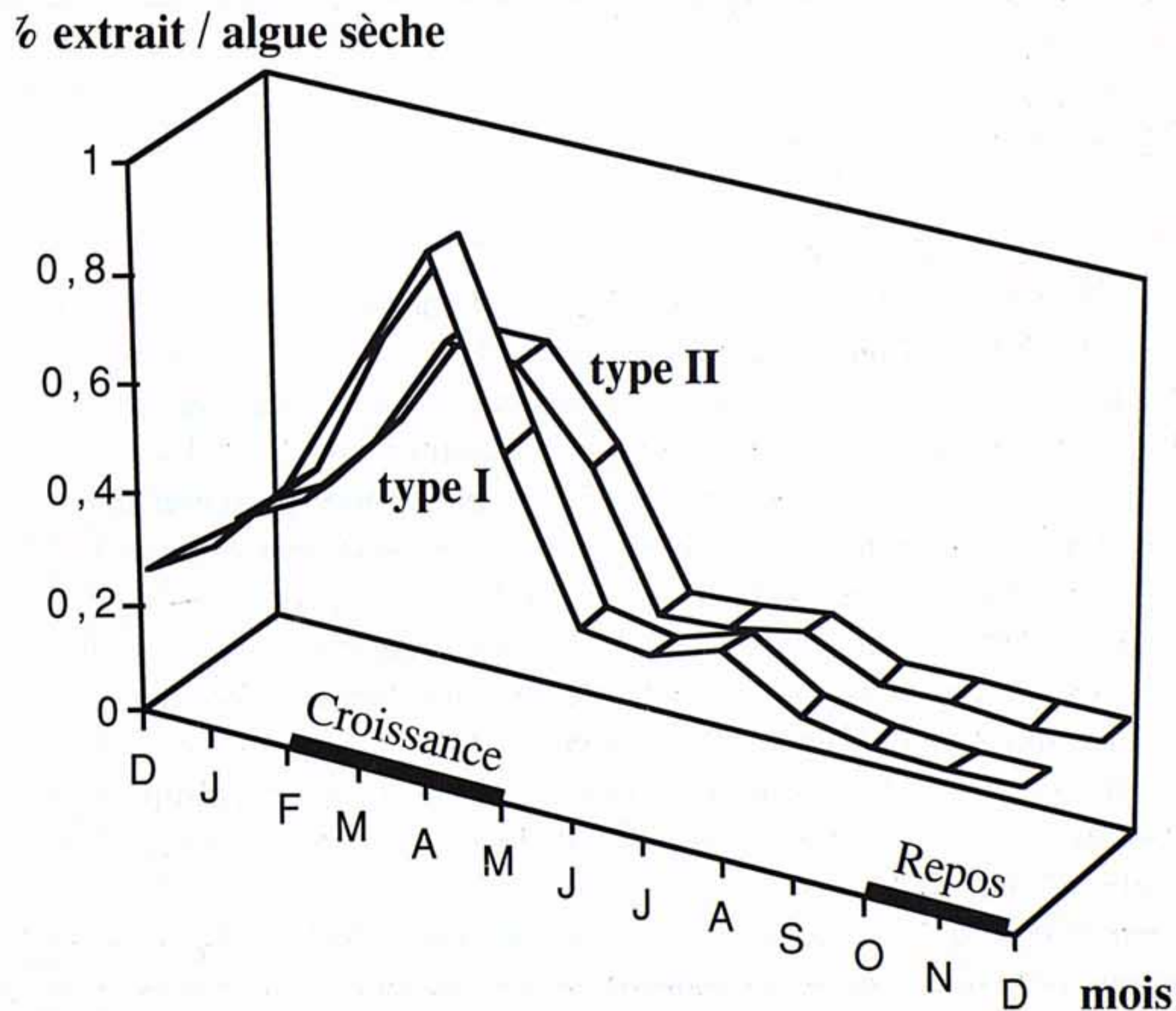


Fig. 1. Variation du pourcentage d'extrait brut par rapport à l'algue sèche en fonction de la saison.

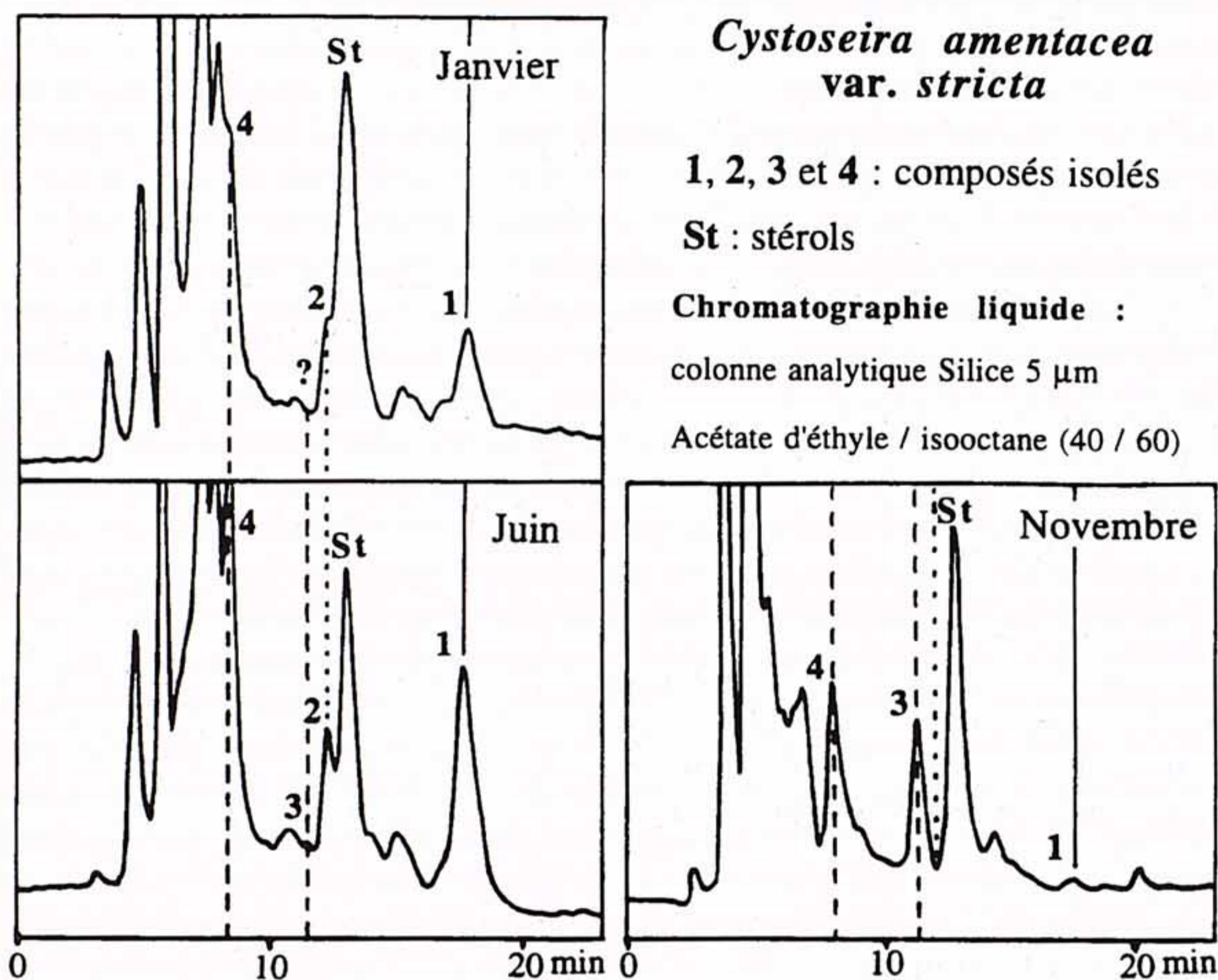


Fig. 2. Chromatogramme de l'extrait de *Cystoseira amentacea* var. *stricta* au mois de janvier, juin et novembre (Sausset-les-Pins).

composés de l'extrait matérialisés par les pics 1 et 4 par exemple, mais ces composés peuvent être identifiés et quantifiés toute l'année. Par contre le composé 2 disparaît au mois de novembre alors que le composé 3 apparaît en juin. Il y a donc des variations saisonnières qui peuvent concerner d'une part l'extrait global et d'autre part des composés de cet extrait. D'autres algues peuvent, par contre, présenter une stabilité qualitative et quantitative de leur extrait (*Bifurcaria bifurcata* par exemple).

En tenant compte de ces variations, il est facile de proposer des composés caractéristiques des espèces. Pour *Cystoseira amentacea* var. *stricta* les différentes récoltes réalisées en plusieurs secteurs de la Méditerranée (sur les côtes françaises entre Marseille et Cannes et en Tunisie à l'île Galite) nous ont permis d'identifier des composés majoritaires caractéristiques de ces secteurs géographiques (VALLS, MESGUICHE & al., 1993). En effet, on a défini (Figure 3) une composition de type I pour les algues prélevées aux alentours de Marseille et de Saint-Tropez et une composition de type II caractéristique des algues récoltées dans la région de Toulon et de Cannes auxquelles on peut associer une ou deux molécules majoritairement présentes dans l'extrait (VALLS, MESGUICHE & al., 1993; MESGUICHE & al., 1995; VALLS & al., 1996). Par contre, pour le secteur de l'île Galite, *Cystoseira amentacea* var. *stricta* contient un produit différent qui caractérise une composition de type III (Figure 3).

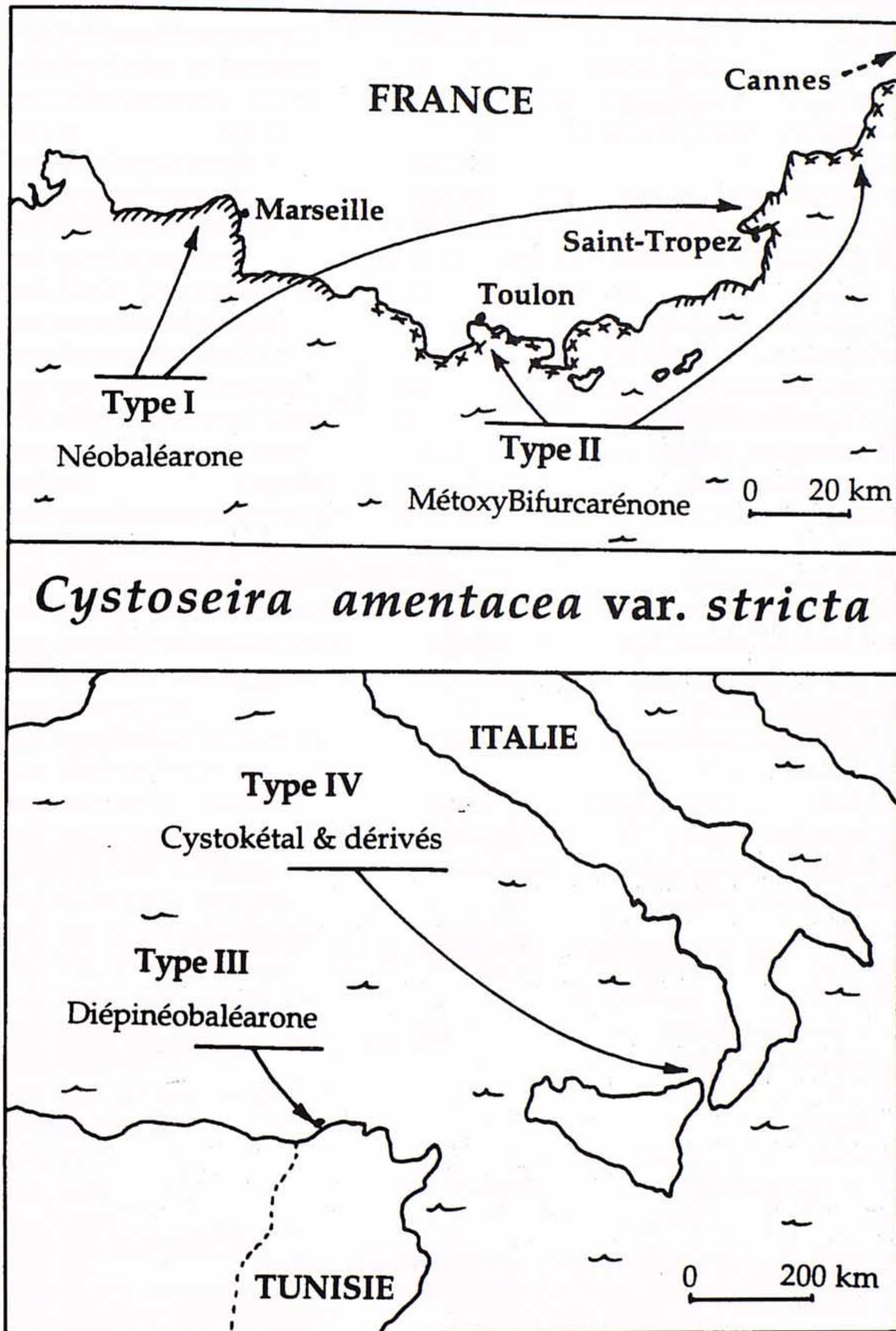


Fig. 3. Variations géographiques de l'extrait de *Cystoseira amentacea var. stricta* sur les côtes françaises, tunisiennes et italiennes.

L'étude de *Cystoseira amentacea* var. *stricta* par AMICO & al. (1987) conduit aussi à un certain nombre de molécules spécifiques du détroit de Messine (composition de type IV) mais aucune approche des variations géographiques n'a été proposée. Partant de l'hypothèse de la non existence des variations, cette équipe n'a pas fait de prélèvements sur des stations géographiques éloignées et a préféré conclure à une erreur d'attribution d'espèces lorsqu'elle a constaté des variations dans la composition chimique (AMICO, PIATELLI & al., 1988).

Nous avons également trouvé des variations géographiques chez *Bifurcaria bifurcata* prélevée sur les côtes marocaines (VALLS, BANAIGS, PIOVETTI & ZERZOUF, 1993). Nous avons identifié (Figure 4) un composé caractéristique des algues prélevées entre Rabat et Casablanca (type A). Un autre composé pour les algues de la zone de Oualidia (type B) et une troisième molécule pour les peuplements situés de part et d'autre de Oualidia (type C).

Sur les côtes du Nord-Ouest de la France (Figure 4), entre Cherbourg et Nantes nous observons le même composé que celui mentionné dans la zone d'Agadir (type C). Toutefois, dans la zone nord de Brest (Melon) ce composé est remplacé par un composé nouveau pour lequel on définit le type D (MESGUICHE & al., 1994; VALLS, MESGUICHE & al., 1995; VALLS, PIOVETTI & al., 1995).

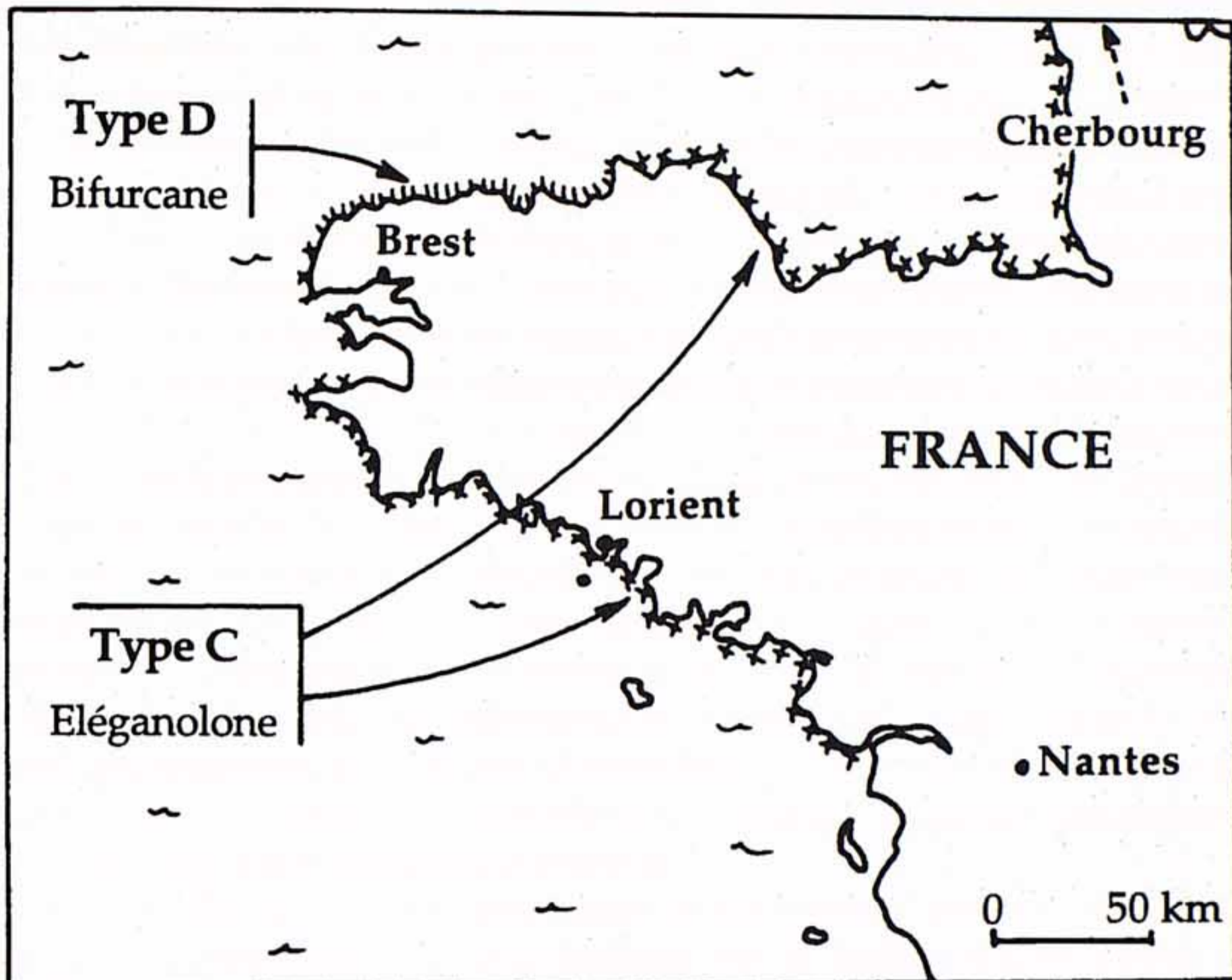
Contrairement à *Cystoseira amentacea* var. *stricta*, les composés caractéristiques des différentes zones marocaines pour *B. bifurcata* ne montrent pas de variations saisonnières significatives (VALLS, BANAIGS, PIOVETTI & ZERZOUF, 1993).

Le choix de ces deux modèles différents est volontaire et souligne la diversité des réponses du milieu naturel. En effet, pour *B. bifurcata*, il n'y a pas de variations saisonnières de la composition que ce soit en France ou au Maroc. De plus, le même type de composition a été retrouvé dans les deux pays (type C) ce qui montre une continuité de cette espèce. Enfin, des types différents ont été caractérisés (types A, B et D), ce qui démontre l'existence des variations géographiques.

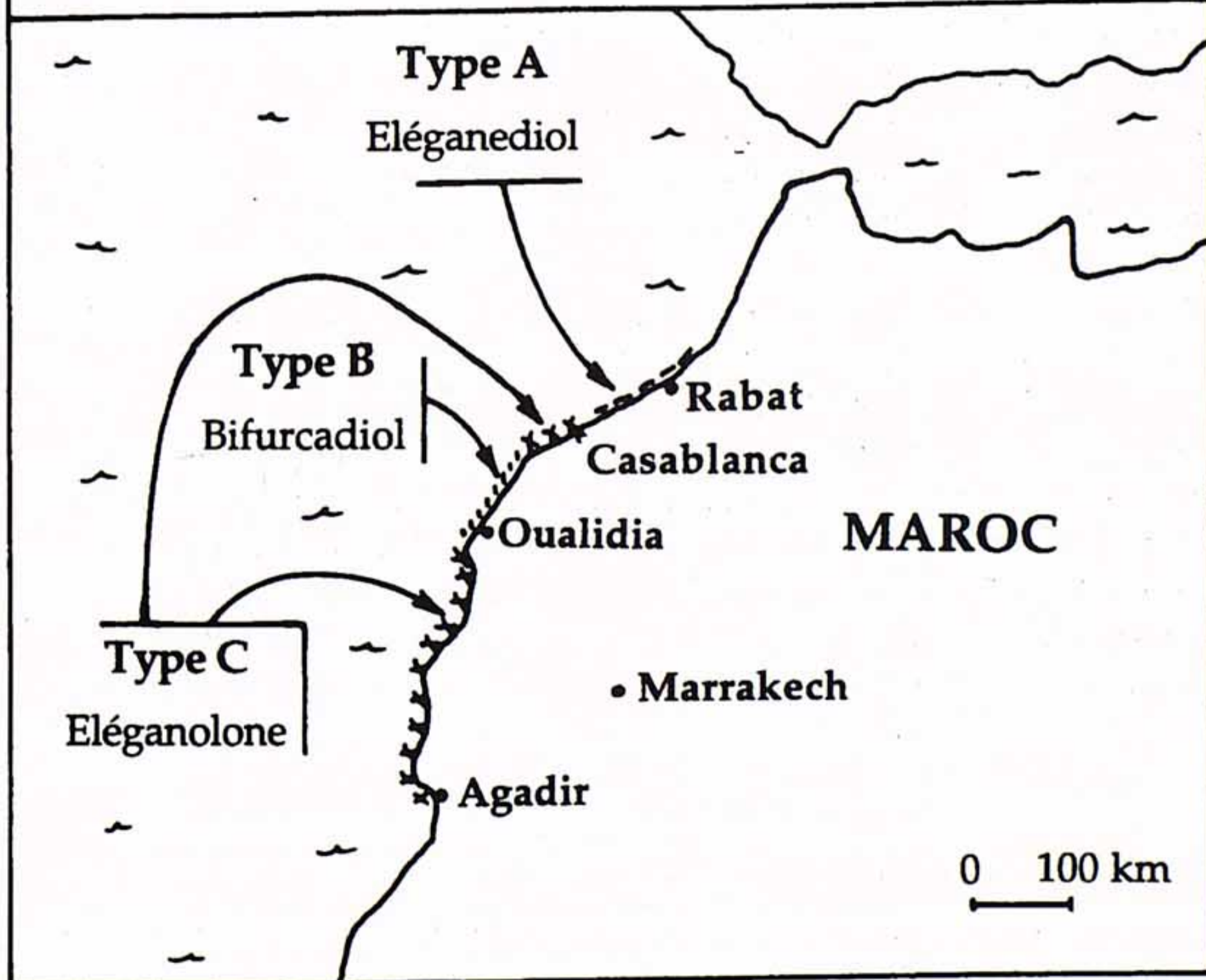
Pour *Cystoseira amentacea* var. *stricta* récoltée en France, nous avons observé des variations saisonnières et géographiques mais ce type d'étude n'a pas été réalisée en Italie.

Face à ces constats de variations quantitatives et qualitatives, saisonnières et géographiques, il convenait de s'assurer que les méthodes d'extraction et l'échantillonnage n'en étaient pas la cause.

De fait, plusieurs méthodes d'extraction ont été comparées: les quantités prélevées ont varié du rameau à 10 kg d'algue fraîche en passant par le thalle entier; les algues fraîches étaient soit fixées dans l'alcool, soit déshydratées par lyophilisation ou dans une étuve à 40°C; le matériel algal ainsi préparé était extrait au diéthyéther afin d'obtenir un extrait huileux brut; on effectuait alors la séparation des produits par chromatographie liquide pour leur identification et leur dosage.



Bifurcaria bifurcata



Nous n'avons pu obtenir des résultats reproductibles et fiables qu'après une optimisation des paramètres d'extraction (VALLS, BANAIGS, PIOVETTI & ZERZOUF, 1993), parmi lesquels: la durée de l'extraction (1 à 10 jours), la température d'extraction (chaud, froid, Soxhlet), le volume de solvant (100 ml à 1 l), la nature du solvant (dichlorométhane, hexane, acétone, diéthyléther, acétate d'éthyle).

Nous nous sommes assurés de la validité de cette optimisation en nous basant sur les réponses expérimentales suivantes: la quantité d'extrait brut (qui devait être constante), la non dégradation des produits extraits (qui doivent être obtenus en quantités identiques quelle que soit la méthode d'extraction), la stabilité des proportions des différents produits (qui montre qu'un composé ne se transforme pas en un autre, en cours de traitement).

Les résultats nous ont permis de définir les méthodes les plus douces pour extraire les produits présents dans l'algue (VALLS, BANAIGS, PIOVETTI & ZERZOUF, 1993): la lyophilisation est utilisée pour les petites quantités, le séchage en étuve ventilée à 40°C pour les quantités importantes et la fixation dans l'alcool lors de prélèvements qui ne peuvent être traités rapidement au laboratoire. Pour chaque méthode le protocole qui conduit à une meilleure extraction est défini.

Pour présenter une vision plus élargie de ces études, nous avons essayé d'associer un genre ou une espèce à une famille de molécules.

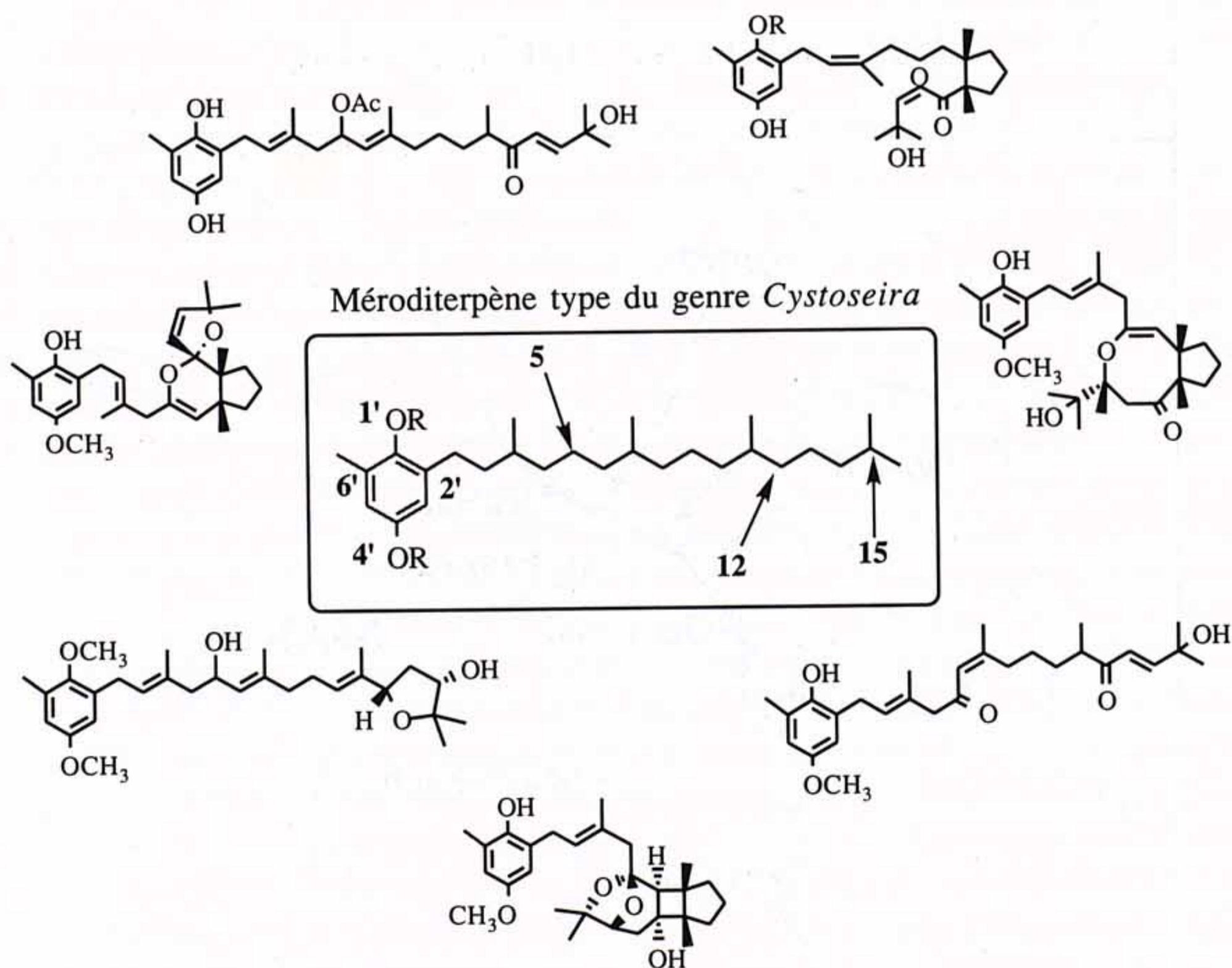


Fig. 5. Molécule type du genre *Cystoseira* et quelques exemples.

Pour comprendre cette approche, il suffit de prendre quelques molécules isolées de différentes espèces du genre *Cystoseira* et de constater (Figure 5) que toutes ces molécules possèdent en commun : un noyau aromatique présentant toujours deux groupements OR en position 1' et 4', un groupement méthyl en 6' et une chaîne latérale en position 2'. Cette chaîne latérale n'est pas quelconque, elle possède 20 atomes de carbone représentant quatre unités isopréniques. De plus, dans le genre *Cystoseira*, cette chaîne diterpénique possède des fonctions sur des positions caractéristiques en 5, 12 et 15. Quelques pontages 5-12 et 12-15 peuvent masquer la chaîne diterpénique.

On pourrait penser que ces caractéristiques peuvent se généraliser à tous les composés de ce type extraits des algues brunes. Mais si nous examinons quelques molécules extraites des genres *Lobophora*, *Dictyopteris*, *Taonia*, etc... (Figure 6), nous constatons que toutes sont des composés aromatiques substitués par une chaîne latérale parfois diterpénique (*Lobophora*, *Dictyopteris*, *Sargassum*) mais parfois très différente (*Taonia*, *Stypopodium*) (VALLS, PIOVETTI, & al. 1993; VALLS & PIOVETTI, 1995).

Si les chaînes sont bien diterpéniques chez *Lobophora* et *Dictyopteris*, on observe un groupement méthyle supplémentaire sur le noyau aromatique chez *Lobophora* (flèche courbe) et le groupement en 6' a disparu chez *Dictyopteris* (flèche courbe) et on ne retrouve pas les fonctionnalisations en 5, 12 et 15.

Tout au plus la molécule représentée pour *Sargassum* et *Cystophora* (VALLS & PIOVETTI, 1995) correspond bien à la molécule type du genre *Cystoseira* mais elle est très minoritaire alors que chez *Cystoseira*, ce type de composé est majoritaire dans l'extrait lipidique.

De fait, le modèle proposé est bien caractéristique du genre *Cystoseira*.

Si l'on reprend en détail le genre *Cystoseira*, l'inventaire des molécules méroditerpéniques montre plusieurs catégories définies par rapport à la structure de la chaîne latérale:

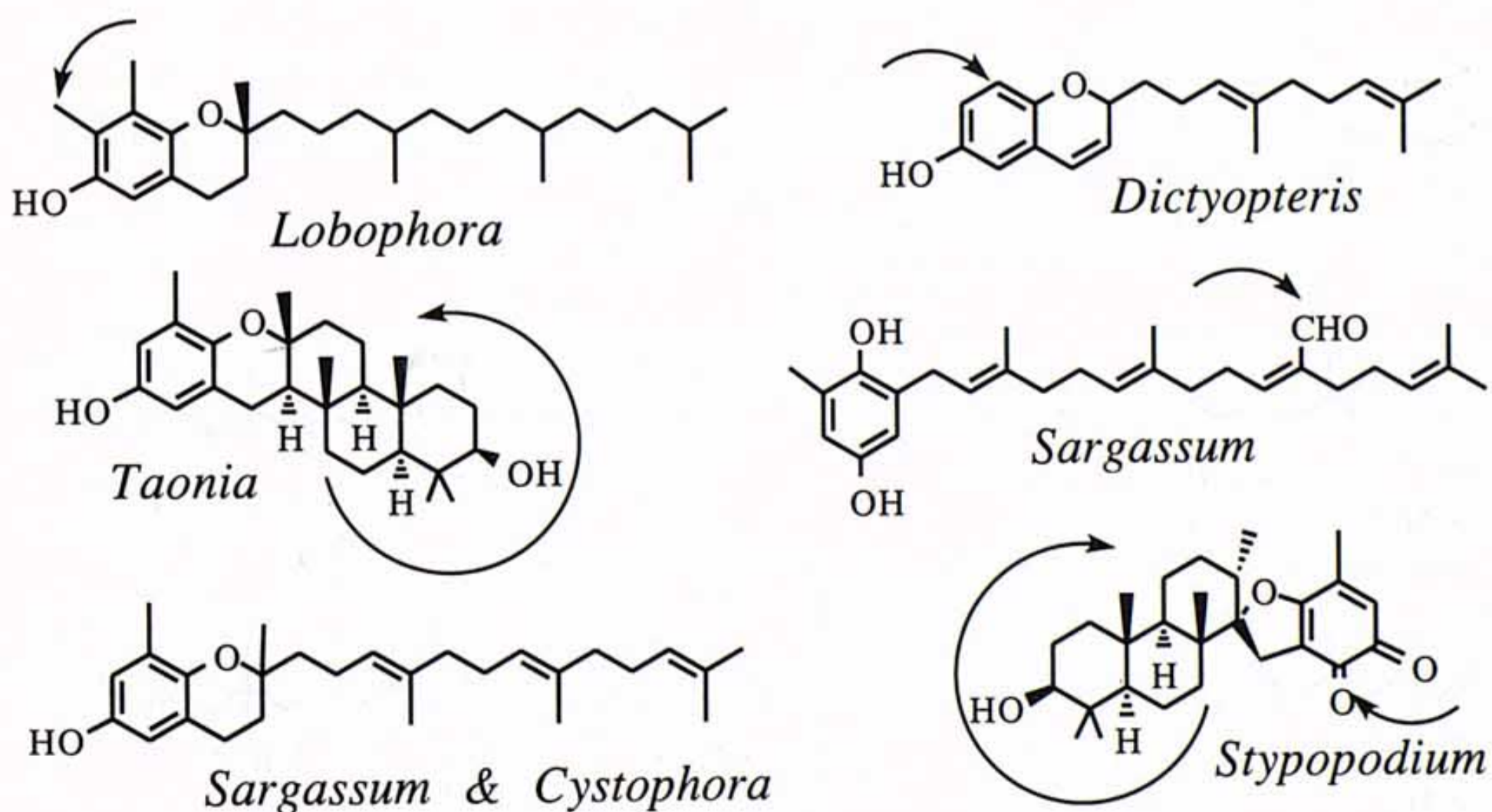


Fig. 6. Quelques exemples de molécules de structure voisine des méroditerpènes caractéristiques du genre *Cystoseira*.

- 1, les méroditerpènes linéaires (Figure 7) pour lesquels la chaîne latérale diterpénique est, comme leur nom l'indique, linéaire (plus de 30 molécules identifiées),
- 2, les méroditerpènes monocyclisés (Figure 8) avec une chaîne latérale qui contient un seul cycle carboné (plus de 10 molécules identifiées),
- 3, les méroditerpènes bicyclisés (Figure 8) avec deux cycles carbonés dans la chaîne latérale ; on remarque la multitude de molécules communes à *C. amentacea* var. *stricta*, *C. mediterranea* et *C. tamariscifolia* (plus de 10 molécules identifiées).
- 4, dans une quatrième catégorie, nous plaçons les méroditerpènes que nous avons appelés réarrangés (Figure 8) et pour lesquels on ne retrouve pas les quatre unités isopréniques (plus de 10 molécules identifiées).

Dans les quatre catégories, on retrouve les fonctionnalisations en 5, 12 et 15, bien que quelques molécules échappent à cette règle (*C. spinosa*, ...).

Méroditerpènes linéaires

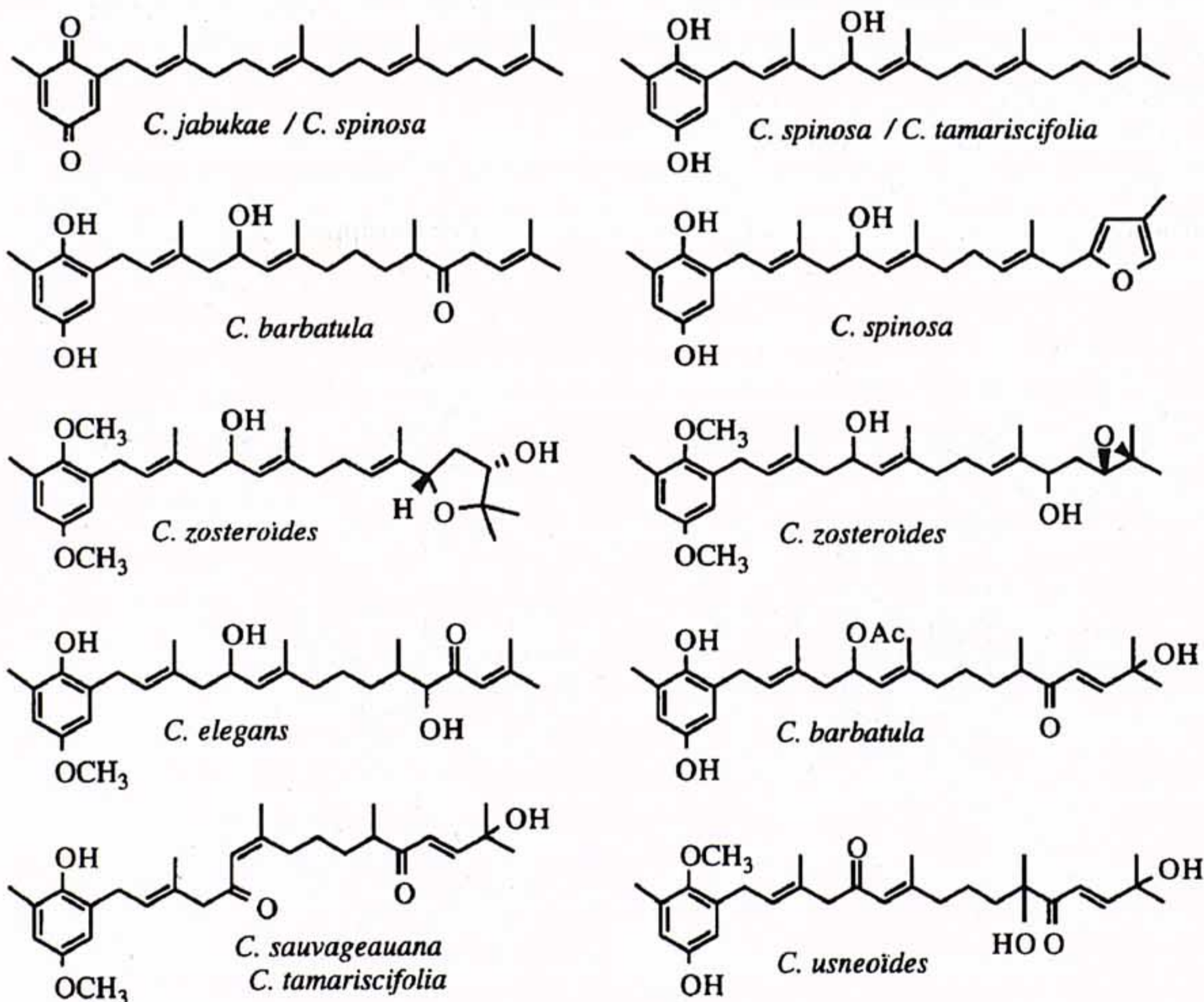
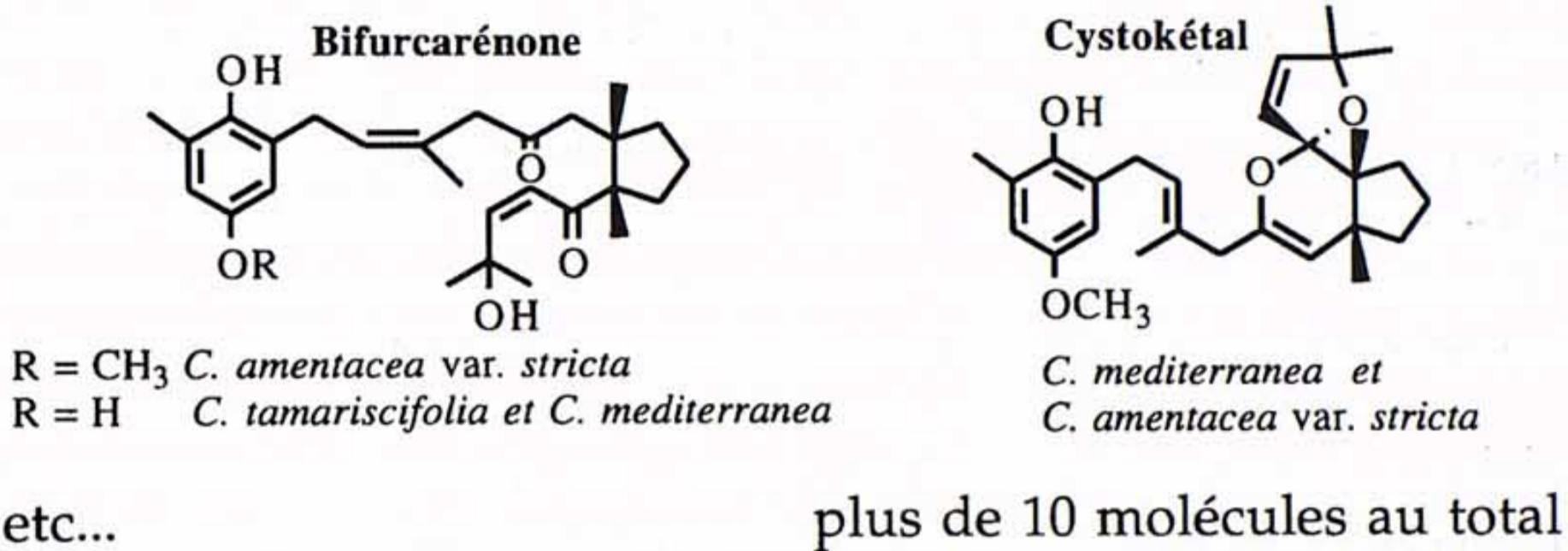


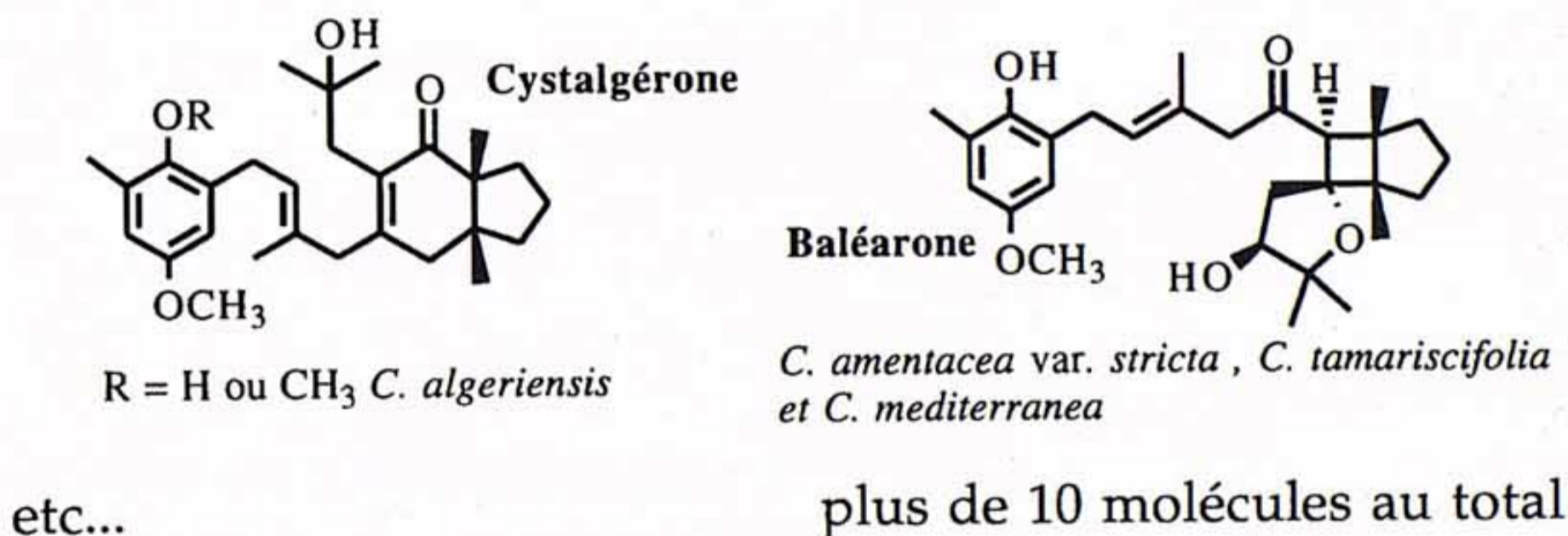
Fig. 7. Exemples de méroditerpènes linéaires extraits des algues du genre *Cystoseira*.

L'ensemble des molécules méroditerpéniques extraites du genre *Cystoseira* peut être représenté par quatre squelettes type (Figure 9) pour lesquels nous proposons la filiation suivante: le composé linéaire de base peut se cycliser en 7-11 pour donner les méroditerpènes monocyclisés, les monocyclisés peuvent à leur tour se cycliser soit en 5-13, soit en 6-12 et enfin ces méroditerpènes bicyclisés peuvent subir un réarrangement dans la chaîne latérale.

Méroditerpènes monocyclisés



Méroditerpènes bicyclisés



Méroditerpènes réarrangés

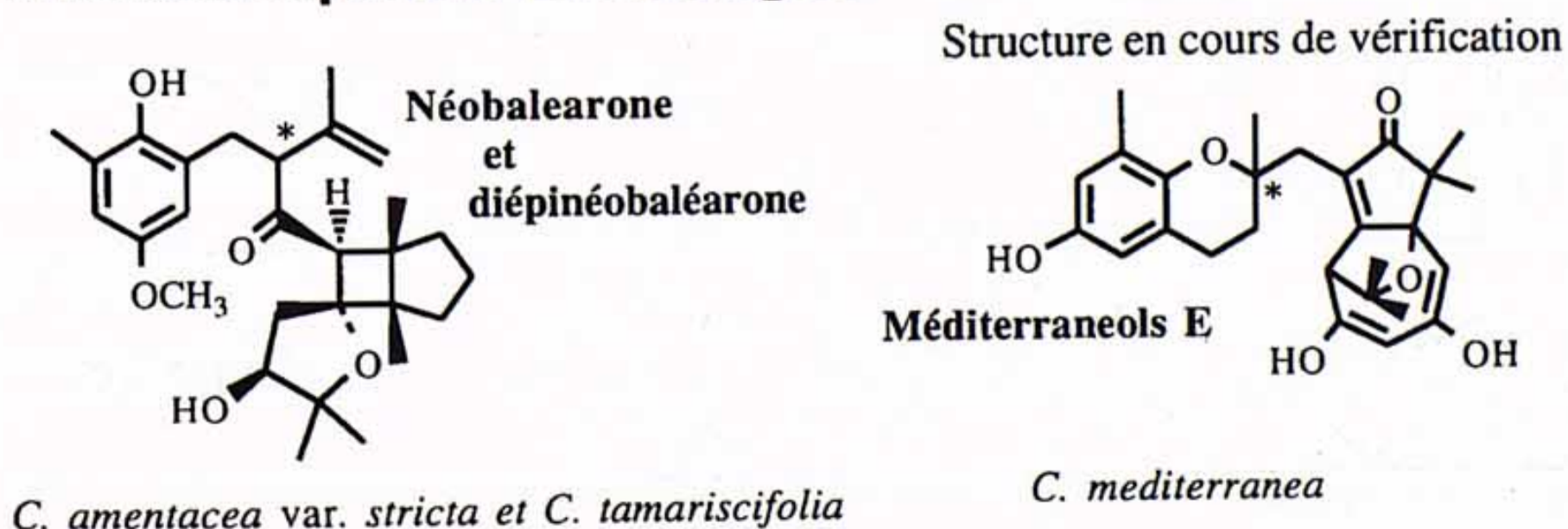


Figure 8: Exemples de méroditerpènes autres que linéaires extraits des algues du genre *Cystoseira*.

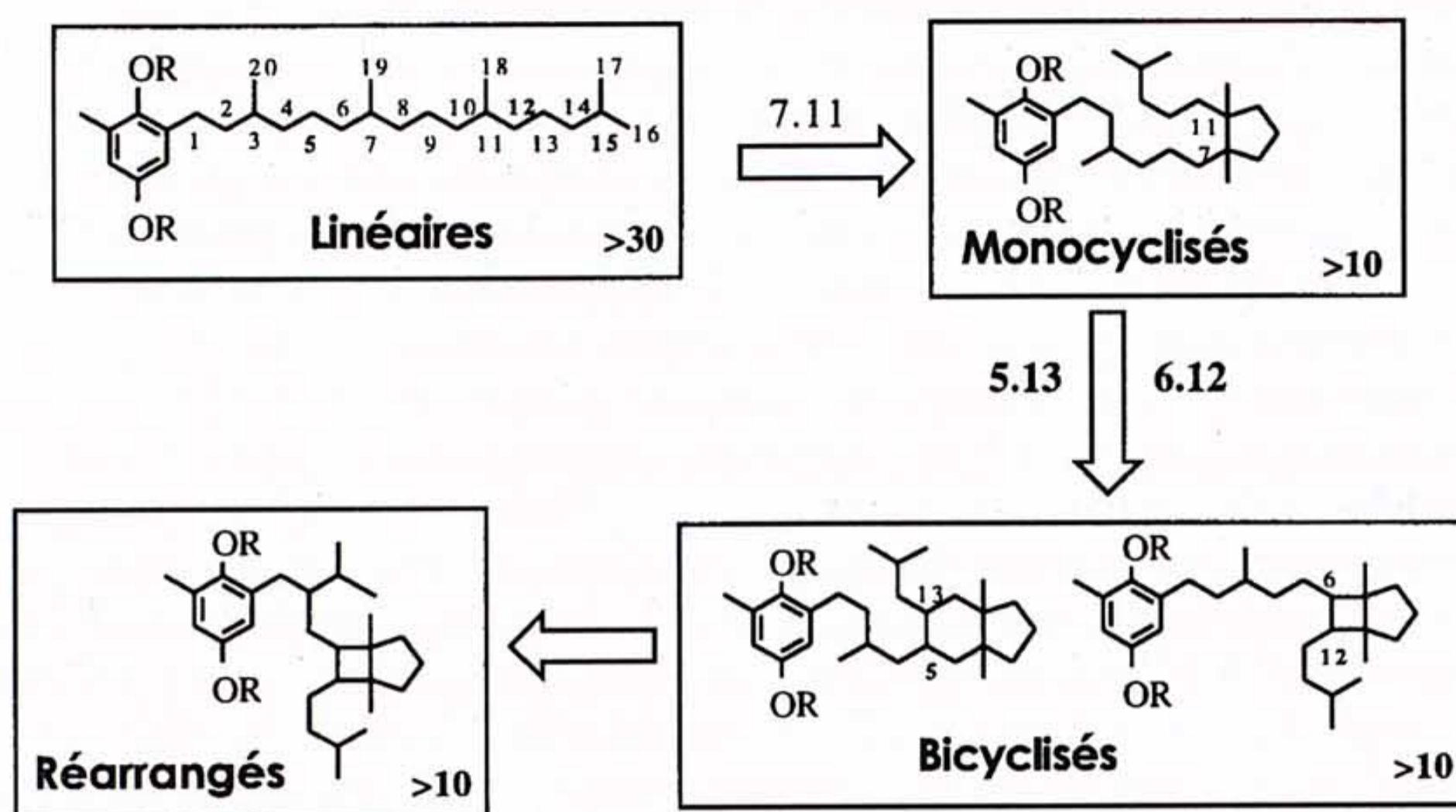


Fig. 9. Squelettes type pour les molécules extraites des algues du genre *Cystoseira*.

On peut effectuer une analyse semblable avec d'autres familles de composés comme les diterpènes.

Douze molécules répertoriées dans les *Cystoseira* présentent les caractéristiques suivantes: un seul squelette de type diterpénique linéaire, quatre doubles liaisons en 2, 6, 10 et 14, une fonctionnalisation en 1 et/ou 13 et les groupements méthyles ne sont généralement pas substitués (Figure 10).

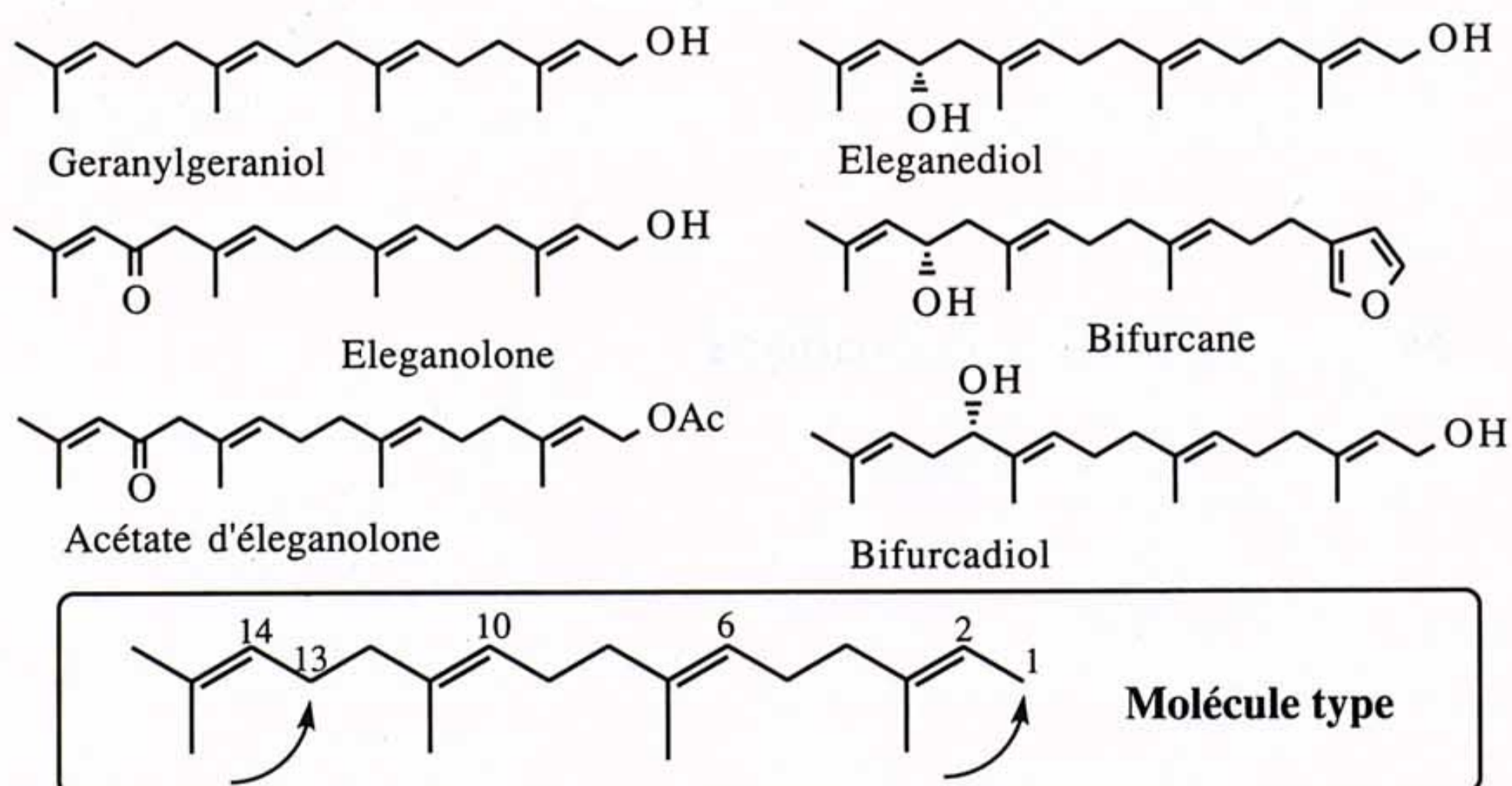


Fig. 10. Exemples et squelette type pour les molécules extraites des algues des genres *Cystoseira* et *Bifurcaria*.

Ce type de classification peut être généralisé et ces considérations peuvent être étendues aux Dictyotales partant d'un diterpène linéaire représenté partiellement replié (Figure 11) pour mieux visualiser les différentes cyclisations qui interviennent.

On obtient trois catégories de molécules (groupes A, B et C) qui regroupent l'ensemble des molécules extraites des Dictyotales (Figures 11 à 14); quelques exceptions confirment la règle.

La généralisation de ce type de classification montre que l'on peut associer un type de molécule à un genre d'algue et montre aussi l'existence de voies de biosynthèse spécifiques aux genres. Les déterminations structurales sont plus faciles lorsque l'on dispose d'une série de molécules extraites d'un genre donné.

A partir de l'inventaire des molécules, Piattelli propose (PIATTELLI, 1990) des regroupements en fonction des types de méroditerpènes ou de diterpènes présents (Tableau 1). Pour notre part, nous proposons des regroupements basés sur des critères chimiques différents (Figure 15).

De fait, on s'aperçoit que la chimie comme la morphologie conduisent à des classifications dépendantes du concept choisi et du choix des critères. C'est donc à une succession de classifications à laquelle on aboutit, qui plutôt que de conforter les systématiciens, rend encore plus complexe l'interprétation des résultats.

La voie que nous proposons est d'associer une espèce à une molécule qui permettra de la caractériser (Tableau 2). La molécule devient alors un marqueur chimique qui traduit bien la définition moderne de l'espèce. Pour les 24 espèces étudiées dans le genre *Cystoseira*, on obtient un ou plusieurs marqueurs mais ces marqueurs doivent

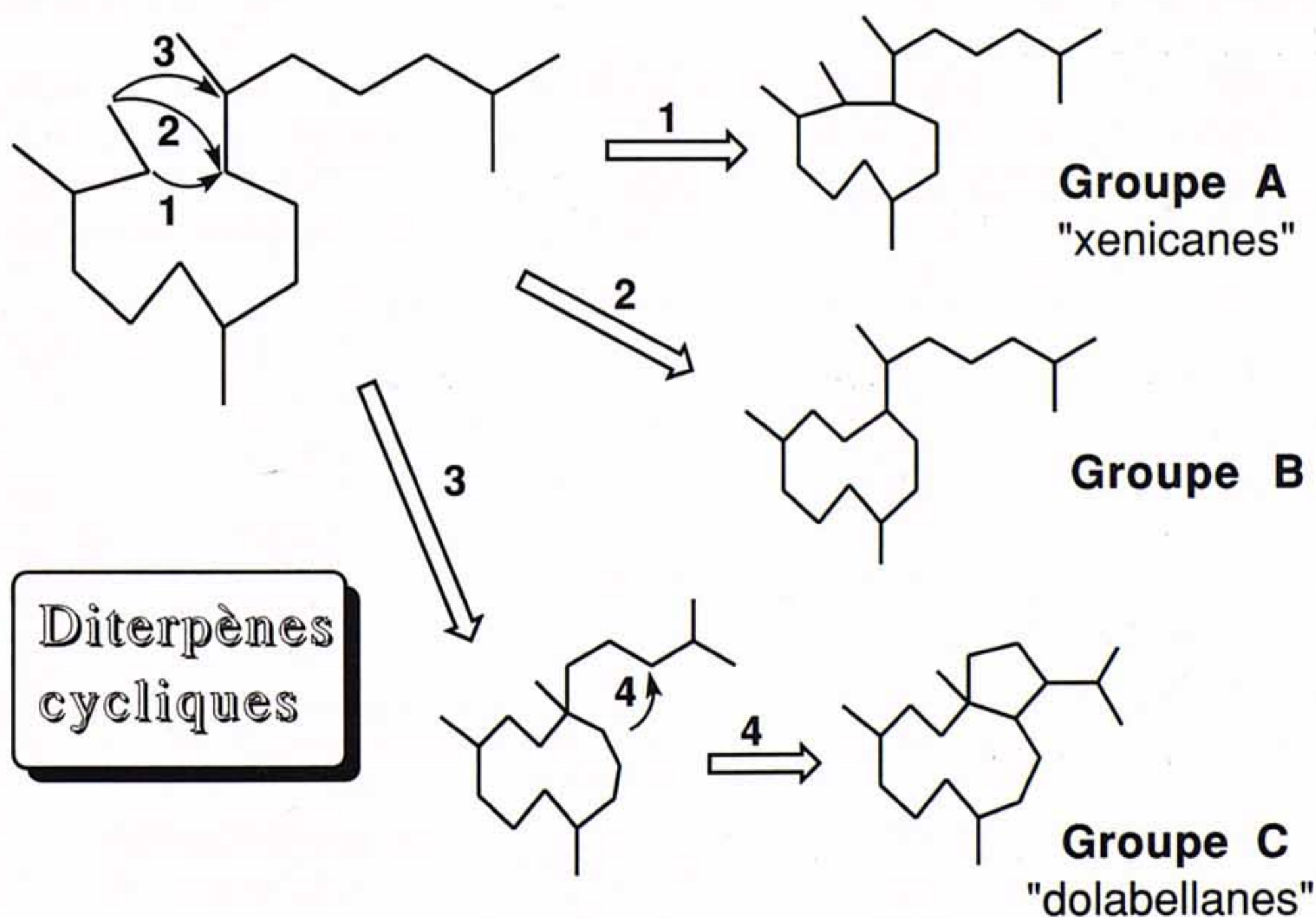


Fig. 11. Squelettes type pour les molécules extraites des Dictyotales.

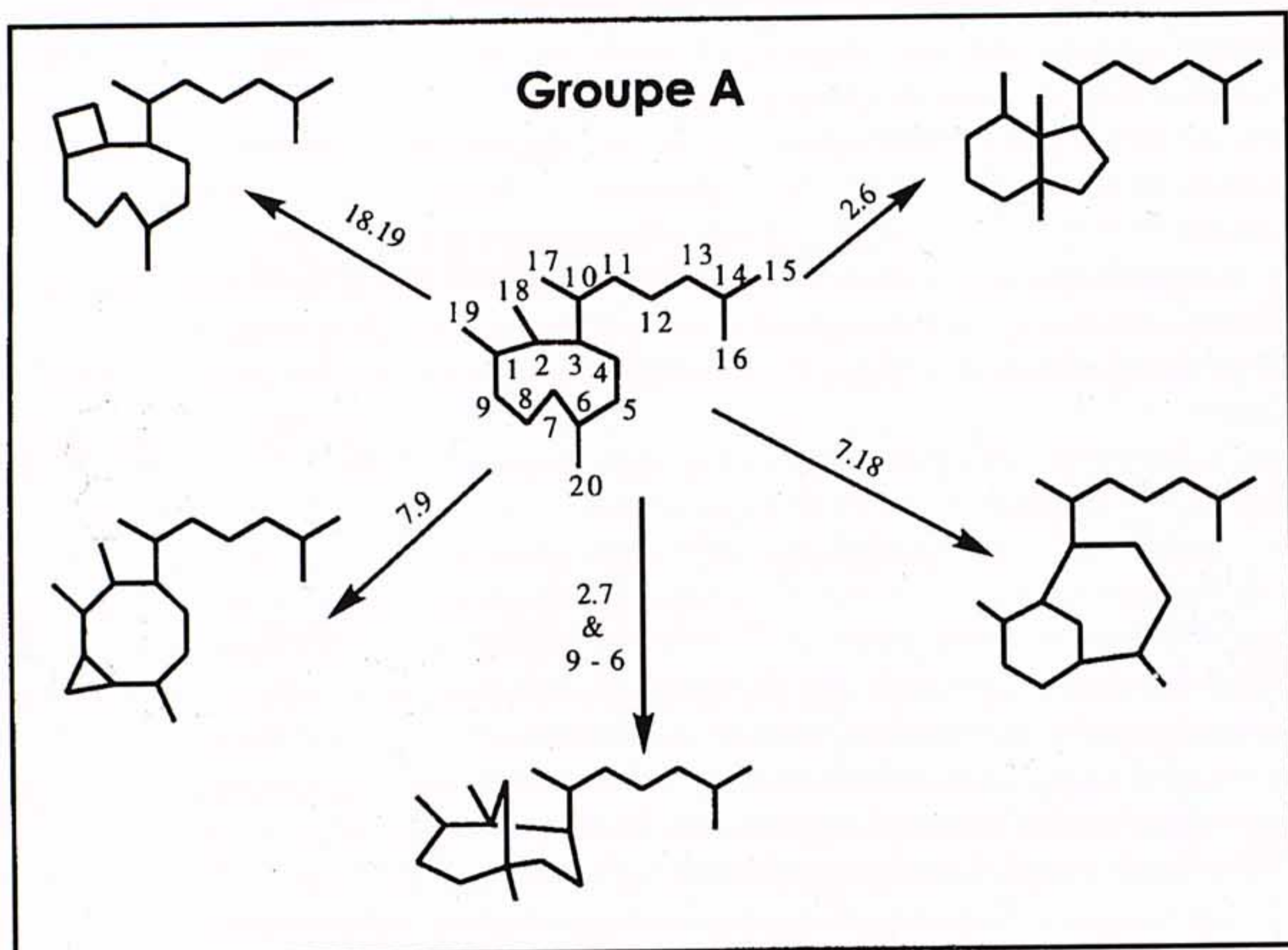


Fig. 12. Squelettes type pour les molécules du groupe A extraites des Dictyotales.

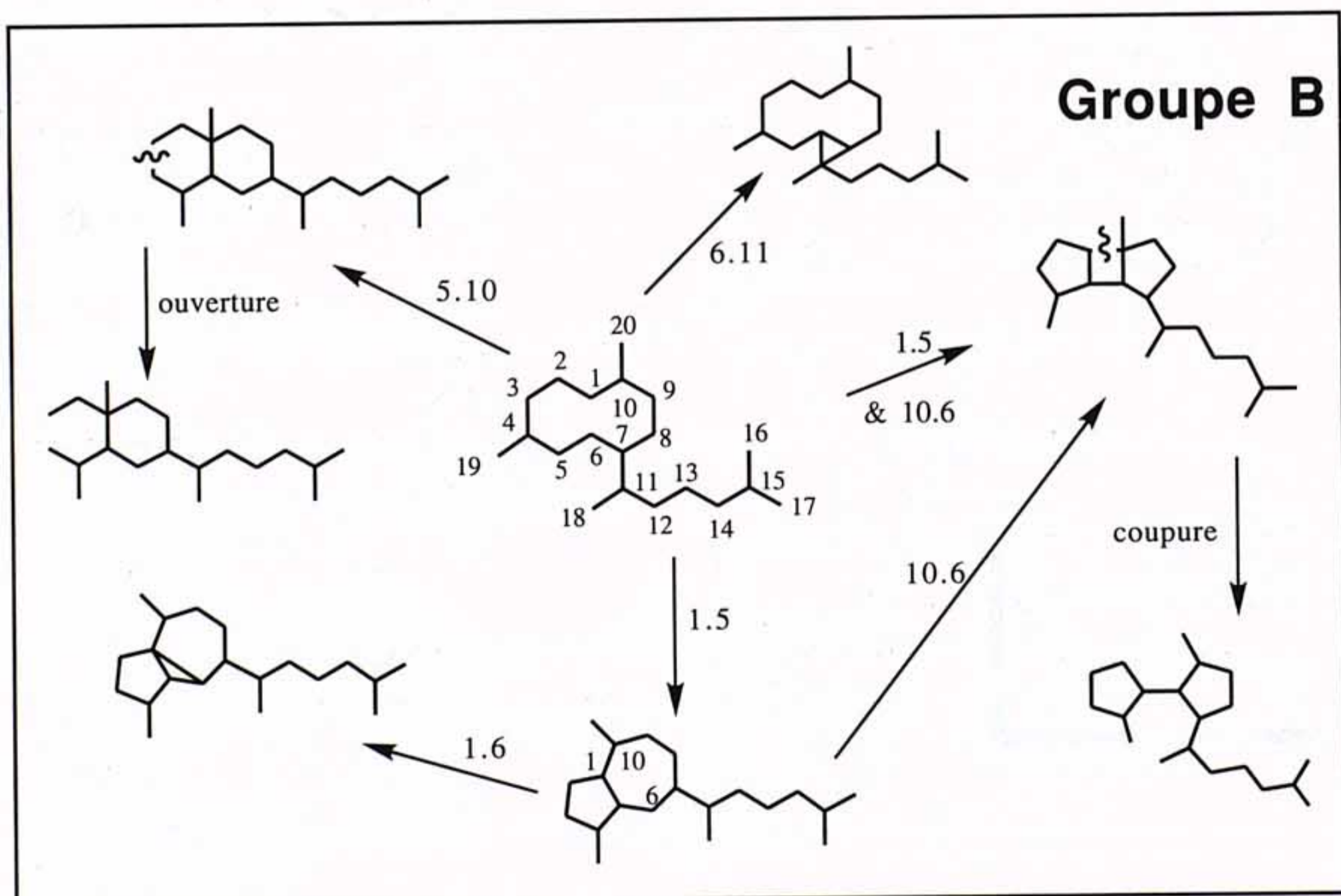


Fig. 13. Squelettes type pour les molécules du groupe B extraites des Dictyotales.

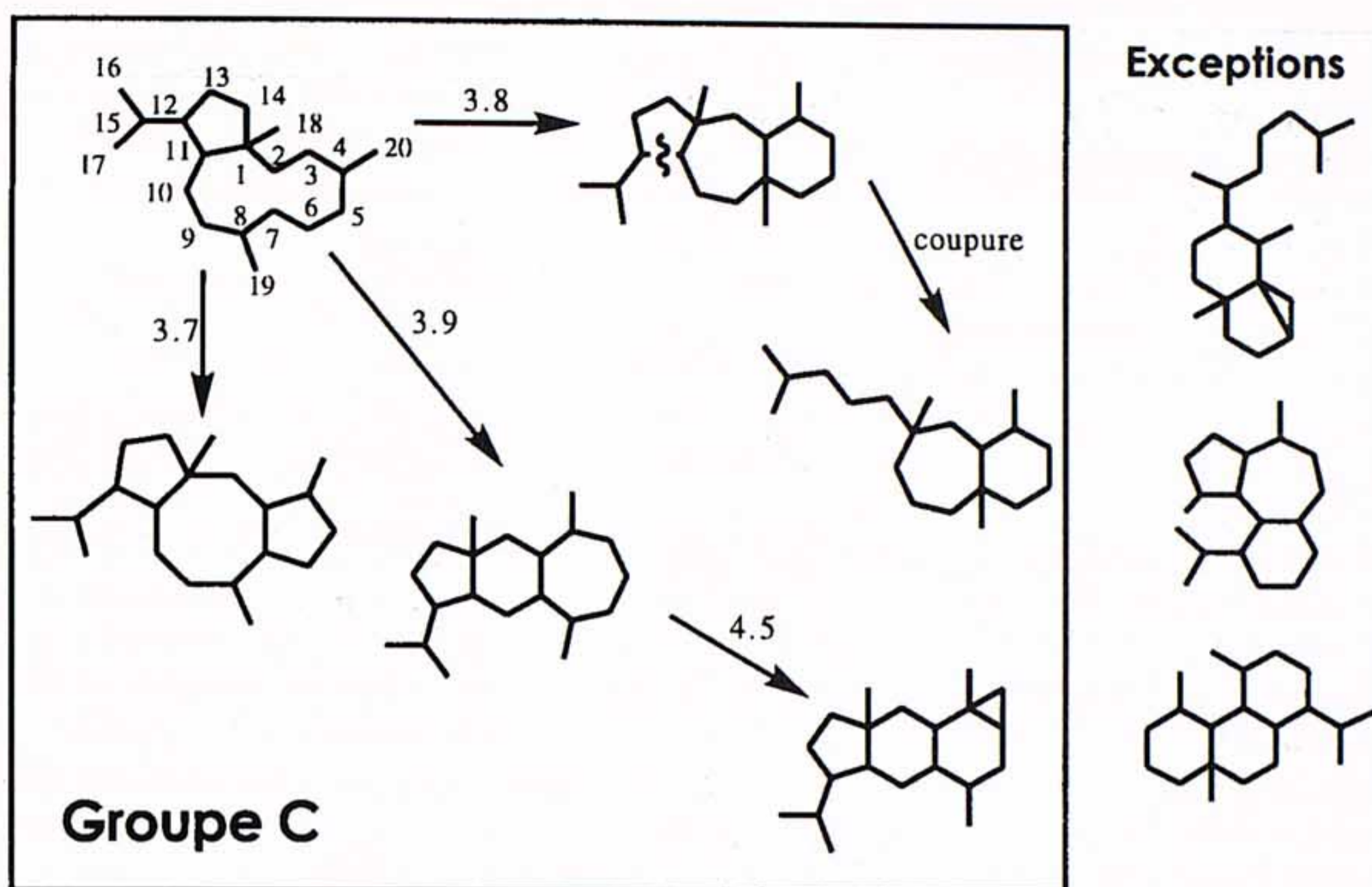


Fig. 14. Squelettes type pour les molécules du groupe C extraites des Dictyotales.

<p>Groupe I (aucun métabolite secondaire lipidique) <i>C. fimbriata</i> (= <i>C. compressa</i>), <i>C. myriophylloides</i> (= <i>C. humilis</i>).</p>
<p>Groupe II (diterpènes linéaires) <i>C. brachycarpa</i>, <i>C. balearica</i>.</p>
<p>Groupe III (méroditerpènes linéaires) <i>C. ercegovicci</i>, <i>C. hyblaea</i>, <i>C. barbatula</i>, <i>C. crinita</i>, <i>C. sauvageauana</i>, <i>C. barbata</i>, <i>C. adriatica</i>, <i>C. dubia</i>.</p>
<p>Groupe IV (furanes et tétrahydrofuranes sur la chaîne latérale) <i>C. jabukae</i>, <i>C. platyramosa</i>, <i>C. elegans</i>.</p>
<p>Groupe VI (chaîne latérale: bicyclo[4.3.0]nonane) <i>C. algeriensis</i>.</p>
<p>Groupe VII (chaîne latérale: bicyclo[3.2.0]heptane) <i>C. stricta</i>, <i>C. stricta</i> var. <i>amentacea</i>, <i>C. amediterranea</i>, <i>C. tamariscifolia</i>.</p>

Tableau 1. Classification des *Cystoseira* selon des critères chimiques par Piattelli (PIATTELLI, 1990).

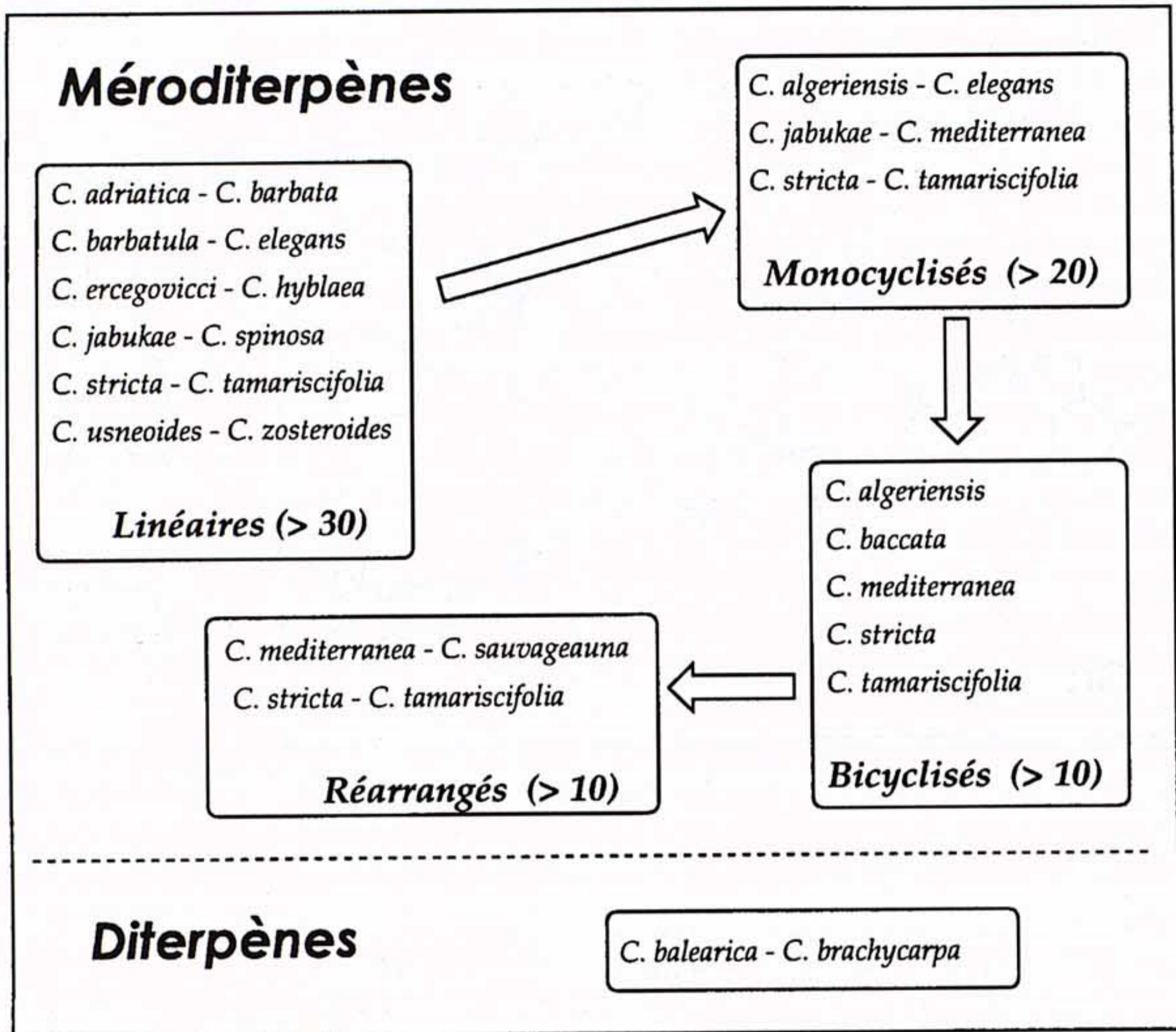


Fig. 15. Classification des *Cystoseira* selon des critères chimiques par Valls et Piovetti (VALLS & PIOVETTI, 1995).

être associés à une population locale, à une saison pour intégrer les variations saisonnières et géographiques que nous avons décrites précédemment.

Cette approche présente un avantage pour le systématicien, car lorsqu'il y a doute sur une espèce, la caractérisation d'un composé chimique peut permettre de trancher. Ce procédé des marqueurs chimiques a déjà été en partie utilisé par AMICO, GIACCONE & al. (1988) pour monter le croisement possible entre *C. elegans* et *C. algeriensis* (ce travail ne tient pas compte des variations saisonnières et géographiques).

Cette notion de variations géographiques est particulièrement importante car elle explique qu'une algue étudiée en plusieurs lieux ne présente pas la même composition chimique.

Cette approche ouvre à bien des espoirs d'isolement de molécules nouvelles puisque selon la saison ou le lieu certains produits pourront être présents ou pas. Bien des molécules sont donc encore à découvrir dans les espèces même si elles ont déjà fait l'objet d'études ponctuelles. D'autre part, une étude des algues tenant compte de ces observations doit permettre d'expliquer ces variations et de mieux comprendre le milieu qui les entoure ainsi que les mécanismes de leur biosynthèse.

Type de marqueurs	Espèces
aucun composé isolé	<i>C. fimbriata</i> , <i>C. humilis</i> .
diterpènes linéaires	<i>C. balearica</i> , <i>C. brachycarpa</i> , <i>C. crinita</i> .
méroditerpènes	<i>C. adriatica</i> , <i>C. algeriensis</i> , <i>C. amentacea</i> , <i>C. baccata</i> , <i>C. barbatula</i> , <i>C. caespitosa</i> , <i>C. elegans</i> , <i>C. hyblaea</i> , <i>C. jabukae</i> , <i>C. mediterranea</i> , <i>C. sauvageauana</i> , <i>C. spinosa</i> , <i>C. tamariscifolia</i> , <i>C. usneoides</i> , <i>C. zosteroides</i> .
Autres composés	<i>C. barbata</i> .
aucun marqueur	<i>C. dubia</i> , <i>C. ercegovicii</i> , <i>C. gibraltarica</i> .

Tableau 2. Type de marqueurs chimiques pour les espèces de *Cystoseires* étudiées.

Conclusion

L'analyse des variations qualitatives et quantitatives, saisonnières et géographiques de la composition chimique des extraits éthérés de nombreuses espèces de *Cystoseiracées* a permis d'identifier des marqueurs chimiques qui peuvent être utilisés en chimiotaxonomie.

Le genre *Cystoseira* est caractérisé par des diterpènes et des méroditerpènes particuliers (19 espèces du genre *Cystoseira* ont pu être identifiées par au moins une molécule).

Une espèce donnée peut être subdivisée en "races géographiques" à l'échelle locale, régionale ou par rapport à des peuplements géographiques très éloignés. Les regroupements chimiotaxonomiques s'accordent assez bien avec les regroupements des taxonomistes classiques mais devraient permettre d'augmenter le nombre des variétés dans le genre *Cystoseira* au détriment des espèces.

Sur le plan fondamental, nos résultats pourraient servir de base à des études de génétique puisque les variations géographiques de la compositions chimiques traduisent une variation dans l'expression du génome.

Dans le cadre d'une valorisation, nos résultats révèlent toute l'importance du lieu et de la période de récolte et par là montrent l'importance de cette notion de "races géographiques". Pour une espèce, une activité pharmacodynamique, par exemple, peut être révélée ou pas selon le lieu de récolte.

Bibliographie

- AMICO, V. (1995). Marine brown algae of family *Cystoseiraceae*: chemistry and chemotaxonomy. *Phytochemistry* **39**(6): 1257-1279.
- , F. CUNSOLO, M. PIATTELLI & G. RUBERTO (1987). Prenylated o-methyltoluquinols from *Cystoseira stricta*. *Phytochemistry* **26**: 1719-1722.

- AMICO, V., G. GIACCONE, P. COLOMBO, P. COLONNA, A. M. MANNINO & R. RANDAZZO (1985). Un nuovo approccio allo studio della sistematica del genere *Cystoseira* C. Agardh (Phaeophyta, Fucales). *Boll. Accad. Gioenia Sc. Nat. Catania* **18(326)**: 887-986.
- , G. GIACCONE, M. PIATTELLI & G. RUBERTO (1988). Inheritance of chemical constituents in algae: tetraprenyltoluquinols of *Cystoseira elegans* x *C. algeriensis*. *Phytochemistry* **27(4)**: 1069-1071.
- , M. PIATTELLI, P. NERI & G. RUBERTO (1988). Meroditerpenoids from *Cystoseira* Spp. *J. A. Nat. Prod.* **51(1)**: 191-192.
- ERCEGOVIC, A. (1952). Sur les *Cystoseira* adriatiques. Institut d'Océanographie et de pêche. *Fauna et Flora Adriatica* **2**. Split.
- FELDMANN, J. (1937). Les algues marines de la côte des Albères: I-III Cyanophycées, Chlorophycées et Phéophycées. *Rev. Algol.* **9**: 141-329.
- FRANCISCO, C., B. BANAIGS, R. VALLS & L. CODOMIER (1985). Mediterraneanol A, a novel rearranged diterpenoid-hydroquinone from the marine alga *Cystoseira mediterranea*. *Tetrahedron Letters* **26(22)**: 2629-2632.
- GERLOFF, J. & M. NIZAMUDDIN (1975). Three new species of the genus *Cystoseira* C. Ag. *Willdenowia* **7**: 565-582.
- GIACCONE, G. (1978). Revisione della Flora Marina del Mare Adriatico. *Anuario del World Wildlife Fund (suppl.) parco Mar. Miramare (Trieste)* **6(19)**: 1-118.
- GUERN, M. (1962). Embryologie de quelques espèces du genre *Cystoseira* Agardh 1821 (Fucales). *Vie et Milieu* **13**: 649-679.
- HAMEL, G. (1931-1939). *Phéophycées de France*. Paris.
- MAYR, E. (1974). *Populations, espèces et évolution*. Ed. Herman, Paris.
- MESGUICHE, V., R. VALLS, P. BOUISSON, B. BANAIGS, M. PELLEGRINI & J. ARTAUD (1994). Variation de la composition en diterpènes de *Bifurcaria bifurcata* sur les côtes atlantiques françaises. *Cryptogamie, Algologie* **15(1)**: 9-10.
- , R. VALLS, A. VARGAS, L. PELLEGRINI & M. PELLEGRINI (1995). Variation de la composition chimique de *Cystoseira amentacea* var. *stricta*. *Cryptogamie, Algologie* **16(3)**: 152-155.
- PELLEGRINI, M., A. LAUGIER, M. SERGENT, R. PHAN TAN LUU, R. VALLS & L. PELLEGRINI (1993). Interactions between the toxicity of the heavy metals cadmium, copper, zinc in combinations and the detoxifying role of calcium in the brown alga *Cystoseira barbata*. *J. Appl. Phycol.* **5(3)**: 1-11.
- PIATTELLI, M. (1990). Chemistry & taxonomy of sicilian *Cystoseira* species. *New J. Chem.* **14**: 777-782.
- PRAUD, A., R. VALLS, L. PIOVETTI, B. BANAIGS & J-Y. BENAÏM (1995). Meroditerpenes from the brown alga *Cystoseira crinita* off the french mediterranean coast. *Phytochemistry* **40(2)**: 495-500.
- RIBERA, M. A., A. GOMEZ GARRETA, T. GALLARDO, M. CORMACI, G. FURNARI & G. GIACCONE (1992). Check-list of Mediterranean Seaweeds. *Botanica Marina* **35**: 109-130.
- ROBERTS, M. (1978). Active speciation in the taxonomy of the genus *Cystoseira* C. Ag. In: *Modern Approaches to the Taxonomy of Red & Brown Algae*. D.E.G. Irvine & J.H. Price (eds.), Academic Press, London.
- SAUVAGEAU, C. (1912). A propos des *Cystoseira* de Banyuls et de Guethary. *Bull. Stat. Biol. d'Arcachon* **14**: 133-556.
- (1920). A propos des *Cystoseira* de Banyuls et de Guéthary (Supplément). *Bull. Stat. Biol. d'Arcachon* **17**: 3-52.
- SEMMAK, L., A. ZERZOUF, R. VALLS, B. BANAIGS, G. JEANTY & C. FRANCISCO (1988). Acyclic diterpenes from *Bifurcaria bifurcata*. *Phytochemistry* **27(7)**: 2347-2349.

- VALIANTE, R. (1883). Die Cystoseira. In *Fauna und Flora des Golfes von Neapel* 7, Monogr. Leipzig.
- VALLS, R., B. BANAIGS, C. FRANCISCO, L. CODOMIER & A. CAVE (1986). An acyclic diterpene from the brown alga *Bifurcaria bifurcata*. *Phytochemistry* 25(3): 751-752.
- , B. BANAIGS, L. PIOVETTI, A. ARCHAVLIS & J. ARTAUD (1993). Linear diterpene with antimitotic activity from the brown alga *Bifurcaria bifurcata*. *Phytochemistry* 34(6): 1585-1588.
- , B. BANAIGS, L. PIOVETTI & A. ZERZOUF (1992). Étude de l'extrait éthéré de *Bifurcaria bifurcata*. *Océanis* 18(2): 223.
- , B. BANAIGS, L. PIOVETTI & A. ZERZOUF (1993). Variations géographiques de la composition en diterpènes de *Bifurcaria bifurcata* des côtes atlantiques marocaines. *Annal. Inst. Océanogr.* 69(2): 215-223.
- , V. MESGUICHE, L. PELLEGRINI & M. PELLEGRINI (1993). Variation de la composition en méroditerpènes de *Cystoseira amentacea* var. *stricta* sur les côtes méditerranéennes. *Cryptogamie, Algologie* 14(2-3): 92-93.
- , V. MESGUICHE, M. PELLEGRINI, L. PELLEGRINI & B. BANAIGS (1995). Variation de la composition en diterpènes de *Bifurcaria bifurcata* sur les côtes atlantiques françaises. *Acta Bot. Gall.* 142(2): 119-124.
- , V. MESGUICHE, L. PIOVETTI, M. PROST & G. PEIFFER (1996). Meroditerpenes from the brown alga *Cystoseira amentacea* var. *stricta* collected off the french mediterranean coast. *Phytochemistry* 41(5): 1367-1371.
- & L. PIOVETTI (1995). The Chemistry of Marine Natural Products from Brown Algae of the family Cystoseiraceae. Chemotaxonomic Relationships. *Biochem. Syst. & Ecol.* 23(7-8): 723-745.
- , L. PIOVETTI, A. ARCHAVLIS, B. BANAIGS & M. PELLEGRINI (1995). (S)-13hydroxygeranylgeraniol derived furanoditerpenes from *Bifurcaria bifurcata*. *Phytochemistry* 39(1): 145-149.
- , L. PIOVETTI, B. BANAIGS & A. PRAUD (1993). Secondary metabolites from Morocco brown algae of the genus *Cystoseira*. *Phytochemistry* 32(4): 961-966.
- , L. PIOVETTI, M. PELLEGRINI, L. PELLEGRINI & G. PEIFFER (1994). Chimiotaxonomie du genre *Cystoseira*. *Cryptogamie, Algologie* 15(1): 13.
- , L. PIOVETTI & A. PRAUD (1993). The use of diterpenoids as chemotaxonomic marker in the genus *Cystoseira*. *Hydrobiologia* 260-261: 549-556.
- , L. PIOVETTI, A. ZERZOUF, L. SEMMAK & G. PEIFFER (1992). Variation des extraits éthérés : étude de *Bifurcaria bifurcata*. *Cryptogamie, Algologie* 13(2): 154.
- ZINOVA, A. D. (1967). *Opredelitel zelenikh, brurikh i krasnikh bodoroslei iuzhnikh morei SSSR*. Nauka, Moscow, Leningrad.

Adresses des auteurs:

Dr. M. Pellegrini & Dr. L. Pellegrini, Laboratoire de Biologie Marine Fondamentale et Appliquée, Université d'Aix-Marseille II, Avenue de Luminy, 13288 Marseille Cedex 09, France;
 Dr. R. Valls, Laboratoire des Organo-Phosphorés, I.U.T. Saint-Jérôme, Université d'Aix-Marseille III, BP 157, 13388 Marseille Cedex 13, France.