

## ANNEXE TECHNIQUE

### EMISSION DE COMPOSES ORGANIQUES VOLATILS AU SEIN DES FORMATIONS ARBUSTIVES MEDITERRANEENNES ET RELATION AVEC LES POTENTIALITES D'INFLAMMATION

**I - OBJECTIFS :** +Concrétisation de l'existence et de l'importance de nappes de COV dans les groupements végétaux méditerranéens

+Corrélation du phénomène «feu de nappe de gaz» observé lors des feux de forêts avec les mécanismes d'émission de composés volatils par les végétaux méditerranéens.

#### **II- HISTORIQUE DE LA PROPOSITION DE RECHERCHE :**

L'idée de ce projet de recherche remonte à 1997. Celui-ci a vu le jour, après la création du GIS «incendies de Forêts», dans un programme **d'une durée de un an**, financé par le Ministère de l'Agriculture (convention n° 61.21.07/98)

##### **- Hypothèse de départ du premier programme de recherches**

**Le LBEM et le CEREN avaient émis l'hypothèse que les substances volatiles émises par les végétaux pouvaient, dans certaines conditions, se retrouver en concentrations mesurables dans l'atmosphère au-dessus des formations végétales arbustives à des périodes où les plantes sont elles-mêmes fortement inflammables, ce qui pouvait alors provoquer des situations à fort potentiel d'inflammation. En effet, en 1998, très peu d'études s'intéressaient à la mise en évidence de ces composés dans l'air ambiant au-dessus des formations végétales naturelles.** Nous avons émis l'hypothèse que des facteurs stationnels tels que l'architecture de la végétation pouvaient jouer un rôle important dans la concentration de ces composés dans l'air.

##### **- Méthodologie développée**

**Jusqu'alors les études étant surtout réalisées grâce à la technique d'enfermement d'organe (Enders et al., 1997), la mesure des composés volatils dans l'air ambiant en milieu naturel a donc nécessité un travail technique préliminaire très important.** Grâce à des recherches préalables, nous avons déterminé une méthode de prélèvement des composés volatils localisés au-dessus de groupements végétaux à romarin (groupements qui ont servi de modèle).

Cette méthodologie a été appliquée en milieu naturel, dans la zone géographique de Valabre, au-dessus d'individus de *Rosmarinus officinalis* localisés dans deux stations différant notamment par le recouvrement de la strate arborescente : un milieu ouvert et un milieu fermé.

Les prélèvements de composés volatils ont été réalisés une fois par semaine du 1<sup>er</sup> juillet 1999 au 31 août 1999 et du 21 février au 13 mars 2000, ces deux périodes correspondant aux deux saisons sèches caractéristiques du climat méditerranéen. Des prélèvements sporadiques ont également été effectués durant le mois d'octobre afin de comparer les comportements pendant les saisons sèches et la période pluvieuse.

En parallèle à ces prélèvements de composés gazeux, des échantillons végétaux de *Rosmarinus officinalis* ont été récoltés le même jour, sur les deux mêmes sites, afin de mesurer le délai d'inflammation (DI), la durée de combustion (DC), l'intensité de combustion (INT), et la durée totale (DT).

Des mesures des principaux facteurs météorologiques (température de l'air, hygrométrie de l'air, pluviométrie, vitesses moyenne et maximale du vent, intensité lumineuse) ont également été effectuées.

#### - **Principaux résultats obtenus**

Cette recherche a permis de **mettre en évidence la présence de composés volatils au-dessus d'un groupement végétal dominé par le Romarin**, aux deux hauteurs échantillonnées : 20 cm et 80 cm. **Ces molécules sont en concentration mesurable dans l'air ambiant durant les deux périodes de sécheresse alors que les quantités sont infimes durant la période pluvieuse.** A ces différences quantitatives s'ajoutent des changements qualitatifs puisqu'un grand nombre de composés gazeux n'apparaissent plus du tout durant cette période.

Il existe donc bien des composés volatils au-dessus des formations végétales et ces substances sont plus nombreuses et en plus grande concentration durant les périodes de sécheresse.

Durant l'été, l'émission de composés volatils est plus importante en milieu ouvert qu'en milieu fermé à 20 cm au-dessus du romarin mais la quantité de composés diminue de moitié à 80 cm en milieu ouvert alors qu'elle est presque totalement conservée en milieu fermé. Le milieu fermé présente donc des risques d'inflammabilité plus importants, ces composés ayant pour la plupart un point flash très bas.

Cette étude a permis également de confirmer l'existence d'une relation linéaire positive et statistiquement significative entre la moyenne des délais d'inflammation et la teneur en eau des échantillons végétaux mais elle a mis en évidence que cette relation était propre à un milieu donné et ce, pour un même végétal testé. Ainsi, pour une teneur en eau identique, la moyenne des délais d'inflammation du romarin de la station fermée est plus faible que celle du végétal du site ouvert durant la période estivale. Le romarin de la parcelle fermée est donc plus inflammable que celui de la station ouverte alors même qu'il contient plus d'eau.

**L'ensemble de ces résultats originaux suggère donc que les divers types de milieu présentent des risques de potentialités d'inflammation différents tant au niveau de l'atmosphère que des végétaux et que ces risques sont plus importants en milieu fermé qu'en milieu ouvert.**

**Nous avons réalisé dans un temps court (un an), la mission que le GIS nous avait confiée : mise au point d'une stratégie de prélèvements in situ et mise en évidence de COV à point flash bas en quantité mesurable, à certaines périodes de l'année dans deux structures de végétation**

### **III- ETAT DES CONNAISSANCES :**

Les plantes émettent une grande variété de composés organiques e.g. éthylène, isoprène, mono et sesquiterpènes, alcanes. L'émission de ces **Composés Organiques Volatils** par les

végétaux a attiré l'attention de la communauté scientifique depuis plusieurs années en raison, notamment, de leur implication dans le budget global du carbone et de la photochimie troposphérique (Lerdau et al., 1997 ; He et al., 2000). Ces émissions ont également été étudiées en raison du rôle de ces composés dans les relations inter- et intra-spécifiques (plante – plante et plante – animal) (Seufert et al., 1995) ou pour leur intérêt en tant que marqueurs chimiotaxonomiques (Csiky & Seufert, 1999).

Il apparaît de plus en plus clairement qu'un nombre très important de végétaux (Angiospermes, Gymnospermes, Bryophytes) sont capables d'émettre des composés organiques volatils (Harley et al., 1999 ; Kesselmeier & Staudt, 1999). La composition qualitative de ces émissions dépend de l'espèce végétale, montrant ainsi que ces composés sont déterminés au niveau qualitatif par le génome. C'est à ce titre que les émissions biogéniques apportent des éléments de réponses en chimiotaxonomie (Csiky & Seufert, 1999). Toutefois, la plupart de ces composés sont émis par plusieurs voire un grand nombre d'espèces différentes, n'ayant pas forcément de relations taxonomiques étroites. Par exemple, *Pinus halepensis* (Gymnospermes) et *Quercus ilex* (Angiospermes) émettent tous les deux principalement de l'α-Pinène (Llusà & Peñuelas, 1999).

La **phénologie** du végétal peut entraîner des changements dans la composition des émissions comme cela a été observé pour *Pinus pinea* (Staudt et al., 1997, 2000). L'influence des événements phénologiques n'est pas systématique. Ainsi, pour *Quercus ilex*, aucune variation n'est observée au cours des saisons (Staudt et al., 2001).

La composition de ces émissions est par ailleurs fortement influencée par les divers **facteurs du milieu**. Le rôle des facteurs environnementaux sur les émissions biogéniques a fait l'objet d'un grand nombre de recherches. Ces recherches, réalisées généralement en conditions contrôlées, se sont essentiellement focalisées sur l'impact des facteurs abiotiques tels que : température, intensité lumineuse, humidité, CO<sub>2</sub>, apport en eau... et beaucoup plus rarement sur les facteurs biotiques (Peñuelas & Llusà 1998).

La **température** semble favoriser les émissions mais il existe une différence de comportement entre les végétaux possédant ou non des organes de stockage (Llusà & Peñuelas, 1999). Ainsi, on trouve des relations significatives entre température et émission pour les végétaux possédant des organes de stockage, tel que *Pinus halepensis*, ceci quel que soit le degré d'humidité relative de l'air. Pour les végétaux sans organes de stockage tel que *Quercus ilex*, la température augmente les émissions de composés organiques volatils uniquement pour des taux importants d'humidité relative de l'air (Llusà & Peñuelas, 1999; Peñuelas & Llusà, 1999). L'influence de la température s'explique par une action physique directe par le biais des tensions de vapeur (Seufert et al., 1995). Outre ces différences interspécifiques, il semblerait également que les divers composés émis par une même espèce montrent des réponses opposées à l'effet de la température. Staudt et Bertin (1998) ont ainsi montré chez *Quercus ilex* qu' au-delà d'un certain seuil de température, l'émission de sabinène, α-pinène et β-pinène diminue alors que celle de trans et cis-β ocimène augmente avec une température croissante.

Pour la plupart des végétaux, l'**intensité lumineuse** augmente l'émission de COV. En particulier, l'émission d'isoprène ne s'effectue qu'en présence de lumière et est étroitement reliée à l'activité photosynthétique (Seufert et al., 1995). Certains monoterpènes, tel que l'α-pinène, présenteraient les mêmes réponses à ce facteur ce qui s'expliquerait par une même voie de biosynthèse (Loreto et al., 1996).. Cette influence positive de la lumière sur l'émission d'isoprène et de monoterpènes a été observée sur de nombreux végétaux tels que l'eucalyptus (Street et al., 1997), le chêne vert (Loreto et al., 1996).

L'influence de l'**humidité du sol** sur l'émission des COV a été étudiée sur divers végétaux ligneux méditerranéens. L'émission est fortement diminuée sous des conditions de sécheresse importante chez la plupart des végétaux étudiés (Llusià & Peñuelas, 1998, Bertin & Staudt, 1996). Cependant, pour *Rosmarinus officinalis*, l'émission ne varie pas en fonction de ce paramètre (Peñuelas & Llusià, 1997).

L'**humidité relative de l'air** favorise l'émission de COV par *Pinus halepensis*. Ceci serait dû à une augmentation de l'hydratation de la cuticule qui améliore sa perméabilité aux monoterpènes. En revanche, chez *Quercus ilex* il y a pas de relation nette entre l'émission et l'humidité relative de l'air (Llusià & Peñuelas, 1999).

L'influence du **CO<sub>2</sub>** sur l'émission des COV a été étudiée chez le Romarin et chez le chêne vert. Pour ces deux végétaux, ce paramètre ne modifie pas les émissions de COV (Peñuelas & Llusià, 1997 ; Loreto et al., 1996).

La réponse des végétaux à l'influence de l'**ozone** sur l'émission des COV dépend de l'espèce. Elle n'a pas d'effet sur les émissions de *Pinus halepensis* (Peñuelas et al., 1999).

En ce qui concerne les facteurs biotiques, l'effet de la **compétition** a été recherchée sur *Pinus halepensis* et *Quercus ilex* (Peñuelas & Llusià, 1998). Les réponses des deux espèces montrent bien un effet de la compétition inter- et intra-spécifique sur l'émission des COV mais avec des comportements inverses.

Une des grandes difficultés communes à toutes ces études est le fait que tous les facteurs environnementaux étudiés ayant un impact sur l'émission de COV peuvent présenter des interrelations et agir en synergie ou de manière antagoniste. **Il ressort clairement de ces études que l'action des facteurs environnementaux dépend de l'espèce considérée et parfois même du composé émis, ce qui justifie la poursuite de ces études sur des végétaux n'ayant pas encore été étudiés selon cette problématique.**

En **milieu naturel**, des mesures de COV dans l'air ambiant ont été réalisées sur des formations végétales variées localisées dans différentes zones géographiques (Peters et al., 1994 ; Isebrands et al., 1999 ; Isidorov et al., 1999 ; Isidorov & Povarov, 2000 ). **Ces mesures sont toujours effectuées dans une problématique liée à la chimie de l'atmosphère** et consistent notamment à **comparer l'importance des flux de COV émis par la végétation aux émissions anthropiques**. Il en ressort que dans certaines formations comme les forêts tropicales d'Amazonie, les forêts boréales de Finlande ou des **formations méditerranéennes**, on trouve des **COV à des concentrations de plusieurs centaines de ppb** (Linfords & Laurila, 2000 ; Kesselmeier et al., 2000 ; Peñuelas et al., 1999).

Les COV sont généralement des **composés présentant un point flash très bas**, surtout l'isoprène et les monoterpènes, et constituent donc des **molécules très hautement inflammables**.

**Cependant, aucune étude n'a été réalisée sur leurs implications dans la formation et la propagation des incendies de forêts.**

#### **IV- PROJET DE RECHERCHE :**

##### **1- Objectifs de l'étude**

L'étude que nous proposons de réaliser sera en continuité avec la précédente et les résultats qui s'y attachent. Elle permettra de répondre à des questions soulevées lors de la première recherche et de mieux comprendre les résultats observés.

**Les objectifs de cette recherche sont**

**-d'une part d'étudier quels sont les facteurs du milieu (biotiques et abiotiques) dans le contexte méditerranéen, qui favorisent l'émission de composés volatils par ces végétaux et modifient leurs paramètres d'inflammabilité ;**

**- d'autre part, l'étude en milieu naturel de l'existence de nappes de gaz, de leur importance relative dans des formations végétales architecturalement différentes types (fermée et ouvertes**

Les recherches concernant l'émission de COV par des végétaux méditerranéens décrites dans la littérature (cf. Etat de l'art) montrent que l'influence des différents paramètres environnementaux sur l'émission de COV est dépendante de l'espèce. Nos investigations seront donc réalisées *en milieu contrôlé* sur **plusieurs végétaux arbustifs méditerranéens participant de façon importante à la structure des communautés**.

La partie de l'étude *en milieu naturel* permettra, en partie, de vérifier en milieu naturel les résultats obtenus en conditions contrôlées. Elle apportera par ailleurs des renseignements sur **l'influence de l'architecture de la végétation sur la capacité de concentration des composés volatils**.

## **2 – Protocole expérimental**

Des différences dans la structure et l'architecture de la végétation impliquent l'existence de mécanismes de compétition différents. Ces processus de compétition modifient par la suite l'influence des divers facteurs mésologiques sur un végétal donné. La réponse d'une espèce va donc dépendre de l'action combinée des facteurs biotiques (densité d'individus pour chaque espèce, richesse spécifique) et des paramètres abiotiques (lumière, eau, nutriments). En retour, ces phénomènes modifieront la structure et l'architecture des communautés. Dans le cadre de cette recherche, des expérimentations en milieu contrôlé seront réalisées sur plusieurs végétaux méditerranéens en combinant ces deux grands types de facteur, afin de mieux comprendre les phénomènes observés en milieu naturel et de prévoir les potentialités d'inflammation des formations végétales.

Les végétaux qui émettent des composés organiques volatils se répartissent en trois grandes catégories (Llusià & Peñuelas, 1998) :

?? ceux qui émettent sans stocker : *Quercus ilex*, *Q. coccifera*

?? ceux qui émettent tout en stockant : *Rosmarinus officinalis*, *Pinus halepensis*

?? ceux qui émettent certains composés et en stockent d'autres : *Cistus albidus*

Il a été montré que, selon la stratégie développée par le végétal, les facteurs du milieu influencent différemment l'émission de composés organiques volatils (Llusià & Peñuelas, 1999). C'est pourquoi nous avons choisi de travailler sur trois arbustes représentatifs de ces trois stratégies. Les trois végétaux arbustifs méditerranéens pris comme modèles dans cette étude seront :

?? *Rosmarinus officinalis* L.

?? *Quercus coccifera* L.

?? *Cistus albidus* L.

**Le choix de ces trois végétaux se justifie également par le fait qu'ils occupent une surface très importante en Provence calcaire.**

Cette recherche développera deux aspects complémentaires :

?? Des expérimentations en milieu contrôlé afin de comprendre quel sont les facteurs du milieu (biotiques et abiotiques) qui favorisent l'émission de composés volatils par ces végétaux et modifient leurs paramètres d'inflammabilité.

?? Des mesures de composés volatils *in situ* afin de mieux caractériser la présence éventuelle d'une nappe en comparant deux types de milieux : fermé et ouvert.

#### - **Expériences en conditions contrôlées**

Sur ces trois végétaux, nous évaluerons l'influence conjuguée de divers paramètres biotiques associés à des facteurs de stress abiotiques sur l'émission de composés volatils, sur la concentration en composés dans le végétal (pour ceux qui en stockent) et sur les paramètres d'inflammabilité. Ces expériences seront réalisées en serre sur ces trois espèces cultivées en pot avec de la terre correspondant à celle des sites naturels.

Les trois espèces seront cultivées soit en peuplement monospécifique, soit en mélange avec des densités spécifiques variables. Cela permettra d'évaluer les effets de la compétition inter- et intra-spécifique et de la richesse spécifique. Chaque série d'expérience sera soumise à divers apports en eau et en nutriments.

Pour chaque expérience, nous mesurerons l'émission de composés organiques volatils au-dessus des diverses espèces, la concentration de ces composés dans le végétal et les paramètres d'inflammabilité. Il sera alors possible d'étudier, pour chaque condition expérimentale, les relations entre contenu et émission et entre contenu et paramètres d'inflammabilité.

Ce type d'approche devrait permettre, sur le long terme, de connaître les formations végétales à risque et les périodes ou les conditions pour lesquelles ces risques seront accrus.

#### - **Expériences en milieu naturel**

Les prélèvements de composés volatils seront réalisés dans un site correspondant à un milieu fermé et une station correspondant à un milieu ouvert. Le milieu ouvert sera une garrigue à dominance de *Quercus coccifera*, *Cistus albidus* et *Rosmarinus officinalis*. Le milieu fermé correspondra à une pinède à *Pinus halepensis* présentant une couverture arborée au moins égale à 80 %. Ces deux formations végétales correspondent d'ailleurs aux groupements végétaux les plus répandus en Provence calcaire. Ces sites seront localisés dans la zone géographique de Valabre et seront donc représentatifs d'un même contexte bioclimatique et d'un même type de sol sur roche-mère calcaire. Des mesures météorologiques complètes de ces sites seront réalisées pendant la durée de l'étude en milieu naturel.

Les composés volatils seront prélevés à différentes hauteurs, du sol jusqu'à la canopée des arbres (ou leur équivalent en hauteur pour le site ouvert) et depuis la périphérie du site d'étude

jusqu'au centre. Ces prélèvements seront réalisés une première fois pendant la saison sèche estivale et une deuxième fois au cours de la période pluvieuse automnale. Des échantillons de chaque espèce seront récoltés pour réaliser les tests d'inflammabilité et les dosages en composés organiques stockés. La répartition qualitative et quantitative des divers composés devraient permettre de confirmer ou d'infirmer la présence d'une poche de gaz inflammable.

**Les contraintes techniques (mise en place des cultures en pot, adaptations techniques pour les prélèvements à grande hauteur) nécessitent de réaliser cette étude sur trois ans et le concours d'un étudiant en thèse.**

### **3 – Calendrier prévisionnel**

1<sup>ère</sup> année :

- mise en place des cultures en serre
- stabilisation des végétaux
- identification des composés émis par les trois arbustes étudiés
- mise au point des référentiels d'inflammabilité pour les trois arbustes

2<sup>ème</sup> année :

- expériences en serre
- dosage des composés émis par les trois espèces étudiées et des métabolites contenus dans les végétaux
- tests d'inflammabilité des trois végétaux
- prélèvements des COV et des échantillons végétaux en milieu naturel dans les deux faciès de végétation

3<sup>ème</sup> année :

- dosage des composés volatils en milieu naturel (9 mois d'analyses)
- exploitation des données
- interprétation des résultats
- rédaction du rapport

### **V – RESULTATS ATTENDUS**

- ***Scientifiques :***

A l'issue des trois ans du programme, les résultats scientifiques attendus concernent la nature de la nappe de COV, son importance au sein des structures de végétation et les conditions de son maintien pendant la saison sèche estivale.

Les études expérimentales devraient permettre de préciser les conditions de la formation de cette nappe de COV et de son renouvellement ou de son maintien.

Les études de terrain devraient permettre de préciser son étendue, sa densité in situ, selon les caractéristiques de la couverture végétale

***Appliqués***

Les résultats concernant les caractéristiques de cette nappe de COV devraient aider au développement de modèles concernant les processus d'inflammation et le risque d'explosion. Dans ce but, un échange est prévu avec les modélisateurs pour fixer ensemble, le mode de mesure de certains paramètres.

## **VI – VALORISATIONS ENVISAGEES**

- La première valorisation envisagée concerne la publication des résultats dans le cadre de revues scientifiques. L'appartenance du LBEM à l'UMR CNRS 6116 implique la production de publications.
- Un ou plusieurs articles de vulgarisation sont prévus. La première démarche (convention n°61.21.07 /98) avait déjà permis la parution d'un article de vulgarisation.
- Des communications à des colloques sont logiquement envisagées.
- A partir d'une meilleure connaissance des propriétés de cette nappe de COV et des risques qu'elle représente, une campagne de sensibilisation pour les professionnels pourrait être mise en place.

## **VII - BIBLIOGRAPHIE**

Bertin, N., Staudt, M. 1996. Effect of water stress on monoterpene emissions from young potted holm oak (*Quercus ilex* L.) trees. *Oecologia*, 107 : 456-462.

Csiky, O., Seufert, G. 1999. Terpenoid emissions of Mediterranean oaks and their relation to taxonomy. *Ecological Applications*, 9, (4) : 1138-1146.

Enders, G., Kotzias, D., Seufert, G. 1997. General methods used during the Castelporziano campaigns. *Atmospheric Environment*, 31 (SI) : 27-34.

- Harley, P. C., Monson, R. K., Lerdau, M. T. 1999. Ecological and evolutionary aspects of isoprene emission from plants. *Oecologia*, 118 (2) : 109-123.
- He, C., Murray, F., Lyons, T. 2000. Monoterpene and isoprene emissions from 15 *Eucalyptus* species in Australia. *Atmospheric environment*, 34 : 645-655.
- Isebrands, J. G., Guenther, A. B., Harley, P., Helmig, D., Klinger, L., Vierling, L., Zimmerman, P., Geron, C. 1999 – Volatile organic compound emission rates from mixed deciduous and coniferous forests in Northern Wisconsin, USA. *Atmospheric Environment*, 33 : 2527 – 2536.
- Isidorov, V. A., Jaroszynska, J., Sacharewicz, T., Piroznikow, E. 1999. Natural VOC emissions from forests in Poland. *Atmospheric environment*, 33 : 4739-4744.
- Isidorov, V. A. and Povarov, V. G. 2000. Phytogetic volatile organic compounds emission by russian forests. *Ecological Chemistry*, 9 : 10-21.
- Kesselmeier, J., Staudt, M. 1999. Biogenic volatile organic compounds (VOC) : an overview on emission, physiology and ecology. *J. atmos. Chem.*, 33 (1) : 23-88.
- Kesselmeier, J., Kuhn, U., Wolf, A., Andreae, M. O., Ciccioli, P., Brancaleoni, E., Frattoni, M., Guenther, A., Greenberg, J., De Castro Vasconcellos, P., De Oliva, T., Tavares, T. Artaxo, P. 2000. Atmospheric volatile organic compounds (VOC) at a remote tropical forest site in central Amazonia. *Atmospheric Environment*, 34 (24) : 4063-4072.
- Lerdau, M., Guenther, A., Monson, R. 1997. Plant production and emission of volatile organic compounds : plant-produced hydrocarbons influence not only the plant itself but the atmosphere as well. *Bioscience*, 47 (6) : 373-383.
- Linfords, V., Laurila, T. 2000 – Biogenic volatile organic compound (VOC) emissions from forests in Finland. *Boreal Environment Research*, 5 : 95 – 113.
- Llusia, J., Peñuelas, J. 1998 – Changes in terpene content and emission in potted Mediterranean woody plants under severe drought. *Can. J. Bot.*, 76 : 1366-1373.
- Llusia, J., Peñuelas, J. 1999 – *Pinus halepensis* and *Quercus ilex* terpene emission as affected by temperature and humidity. *Biologia Plantarum*, 42 (2) : 317 – 320.
- Loreto, F., Ciccioli, P., Cecinato, A., Brancaleoni, E., Frattoni, M., Tricoli, D. 1996. Influence of environmental factors and air composition on the emission of  $\alpha$ -Pinene from *Quercus ilex* leaves. *Plant physiol.* 110 : 267-275.
- Peñuelas, J., Llusia, J. 1997 – Effects of carbon dioxide, water supply, and seasonality on terpene content and emission by *Rosmarinus officinalis*. *Journal of Chemical Ecology*, 23 (4) : 979 – 993.

Peñuelas, J., Llusà, J. 1998 – Influence of intra- and inter-specific interference on terpene emission by *Pinus halepensis* and *Quercus ilex* seedlings. *Biologia Plantarum*, 41 (2) : 139 – 143.

Peñuelas, J., Llusà, J. 1999 - Seasonal emission of monoterpenes by the Mediterranean tree *Quercus ilex* in field conditions : Relations with photosynthetic rates, temperature and volatility. *Physiologia plantarum*, 105 : 641-647.

Peñuelas, J., Llusà, J., Gimeno, B. S. 1999. Effects of ozone concentrations on biogenic volatile organic compounds emission in the Mediterranean region. *Environmental Pollution*, 105 : 17-23.

Peters, R. J. B., Renesse, J. A. D. V. V. Duivenbode, Duyzer, J. H., Verhagen. H. L. M 1994 - The determination of terpenes in forest air. *Atmospheric Environment*, 28 (15) : 2413-2419.

Rinne, J., Hakola, H., Laurila, T., Rannik, Ü. 2000. Canopy scale monoterpene emissions of *Pinus sylvestris* dominates forests. *Atmospheric environment*. 34 (7) : 1099-1107.

Seufert, G., Kotzias, D., Spata, C., Versino, B. 1995. Volatile organics in Mediterranean shrubs and their potential role in a changing environment. In “ Global change and Mediterranean-Type ecosystems”. Moreno J. M. and Oechel W. C. *Ecological Studies* 117 : 343-369.

Staudt, M., Bertin, N., Hansen, U., Seufert, G., Ciccioli, P., Foster, P., Frenzel, B., Fugit, J. L. 1997. Seasonal and diurnal patterns of monoterpene emissions from *Pinus pinea* (L.) under field conditions. *Atmospheric environment* 31 : 145-156.

Staudt, M., Bertin, N. 1998 – Light and temperature dependence of the emission of cyclic and acyclic monoterpenes from holm oak (*Quercus ilex* L.) leaves. *Plant, Cell and Environment*, 21 : 385-395.

Staudt, M., Bertin, N., Frenzel, B., Seufert, G. 2000. Seasonal variation in amount and composition of monoterpenes emitted by young *Pinus pinea* trees – Implications for emission modeling. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 35 : 77-99.

Staudt, M., Wolf, A., Kesselmeier, 2000. Influence of environmental factors on the emission of gaseous formic and acetic acids from orange (*Citrus sinensis* L.) foliage. *Biogeochemistry*, 48 (2) : 199-216.

Staudt, M., Mandl, N., Joffre, R., Rambal, S. 2001. Intraspecific variability of monoterpene composition emitted by *Quercus ilex* leaves. *Canadian journal of forest research*, 31 (1) : 174-180.

Street, R. A., Hewitt, C. N., Mennicken, S. 1997. Isoprene and monoterpene emissions from a *Eucalyptus* plantation in Portugal. *Journal of Geophysical*, 112 (D13) : 15875-15887.