

OBSERVATION DE LA POSIDONIE PAR ACOUSTIQUE

par Jean-Pierre Hermand (1)

RÉSUMÉ

Les effets de la photosynthèse sur la propagation du son ont été observés dans les herbiers à Posidonie [*Posidonia oceanica* (L.) Delile]. Cet article présente les résultats d'une des expériences menées dans la réserve marine de l'île d'Ustica, au large de la Sicile, en Septembre 1999. Des mesures de propagation et de bruit ambiant ont été réalisées pendant quatre jours dans des conditions expérimentales bien contrôlées. Des signaux à bande large modulés linéairement en fréquence entre 0,2 et 16 kHz ont été transmis de manière répétée entre la source sonore et deux hydrophones distants de 53 mètres. Des données d'oxygène dissous et de température ont été également recueillies le long d'une radiale par une sonde océanographique. Une analyse statistique de la variabilité de la réponse impulsionnelle du milieu, et en particulier de la distribution temporelle de l'énergie acoustique le long de trajectoires sonores, permet d'extraire des variations cycliques de caractéristiques de propagation du son. Certaines de ces caractéristiques sont bien corrélées avec la libération d'oxygène photosynthétique. En effet, la Posidonie forme une couche épaisse dans laquelle la fraction de gaz varie avec la phase du cycle de la photosynthèse. Les principales variations sont attribuées d'une part au gaz présent dans les canaux d'air qui parcourent l'intérieur des feuilles et d'autre part à des microbulles d'oxygène qui adhèrent à leur surface. D'autres variations peuvent être attribuées à la circulation du gaz dans le rhizome et dans les réseaux de racine. Au cours de la phase active, la vitesse du son, qui est plus faible que dans l'eau de mer sans bulles, l'absorption et la diffusion modifient les réflexions multiples sur le substrat rocheux. Par la modélisation, on peut expliquer pourquoi les trajets multiples ayant des angles d'incidence intermédiaires sont les plus sensibles à la photosynthèse dans notre dispositif expérimental. Les résultats confirment ceux obtenus lors d'un premier essai en mai 1995, même si les conditions environnementales différentes et la géométrie de mesure étaient différentes. Ils indiquent que les mesures in situ de la photosynthèse par les méthodes acoustiques peuvent fournir de nouvelles perspectives pour la compréhension des mécanismes de la réponse adaptative des plantes à des facteurs environnementaux à l'échelle d'un herbier.

ABSTRACT

*The possibility of using acoustic methods to monitor in situ the response of sea grasses to environmental factors is investigated. The effects of photosynthesis on sound propagation have been observed in prairies of *Posidonia oceanica* (L.) Delile. This paper reports some results of one of the experiments conducted in the marine reserve of the island of Ustica, off Sicily, in September 1999. The long-range propagation of an acoustic signal and the ambient noise were measured during four days under well controlled experimental conditions. Low-frequency, broad-band, frequency-modulated signals were transmitted repeatedly between a sound source and a distant two-hydrophones receiver 53 m apart. The frequency range was 0.2–16 kHz. Ground truth data of dissolved oxygen and temperature were obtained along the acoustic transect with an oceanographic probe. Detailed statistical analyses of the medium impulse responses, and in particular of their energy time distribution, allow extracting cyclic variations of the sound propagation characteristics. Some of the latter are strongly correlated with the release of photosynthetic oxygen measured above the foliage by a dissolved oxygen sensor. Photosynthesis is shown to cause excess attenuation of multipaths and faster decay of reverberation. The main variations are attributed to undissolved gases that are present in the air channels running inside the length of the leaf blades and to oxygen microbubbles that stick to the blade surface. Other variations can be attributed to gas movement in the rhizome and root systems. The *Posidonia* grasses form a thick layer where gas void fraction varies with the phase of photosynthesis cycle. During the active phases, sound speeds which is lower than in bubble-free seawater, absorption and scattering modify the multiple reflections from the rock substratum. Modeling results explained why the multipaths with intermediate grazing angles are the most sensitive to photosynthesis in our experimental setup. The results confirm the ones obtained in a first test in May 1995, even if conducted under different environmental conditions and with different measurement geometry. They indicate that in situ measurements of photosynthesis by acoustic methods can provide new insights into the mechanisms and adaptive responses of sea grasses to environmental factors at the scale of a prairie.*

(1) Environmental Hydroacoustics Lab.
Université libre de Bruxelles (U.L.B.), avenue Franklin D. Roosevelt, 50 - CP 194/05, 1050 Bruxelles, Belgique. Email: jhermand@ulb.ac.be

1. INTRODUCTION

Les herbiers à Posidonie [*Posidonia oceanica* (L.) Delile] représentent le plus caractéristique et, probablement, le plus important des écosystèmes de la Méditerranée. Ils couvrent une superficie estimée à 65.000 kilomètres carrés. Ces phanérogames marines constituent un habitat important pour de nombreuses espèces de poissons, d'animaux marins, et d'autres espèces de plantes et d'algues. Ils peuvent ainsi être des indicateurs fiables de la qualité des eaux littorales et de la biodiversité du milieu marin. Ils créent également des obstacles naturels qui réduisent l'érosion côtière. Enfin, la Posidonie possède une caractéristique primordiale qui est sa faculté à produire de grandes quantités d'oxygène par photosynthèse. Pour cette raison, elle est souvent surnommée le "poumon vert de la Méditerranée". L'étude des herbiers à Posidonie, qui est une espèce protégée, et la préservation de leur superficie fait l'objet d'une attention particulière des biologistes [8].

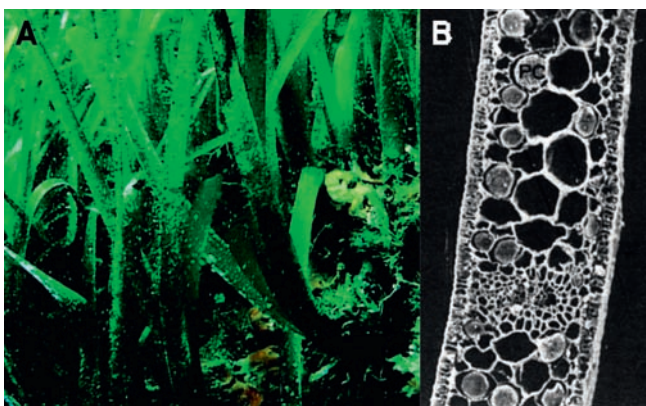


Figure 1 : Appareil à photosynthèse de la *Posidonia oceanica* L. Delile. (A) Feuilles adultes couvertes d'épiphytes et d'incrustation, jeunes feuilles et rhizomes. (B) Coupe transversale montrant l'épiderme monocouche de cellules et le mésophylle à larges cellules et les petits espaces intercellulaires ($\times 200$).

Les méthodes conventionnelles de mesure de l'activité photosynthétique des herbiers consistent à réaliser des mesures d'oxygène dissous ou des mesures de production primaire sous cloches. L'émergence des méthodes de caractérisation acoustique du milieu (communément appelé tomographie acoustique) ont permis d'envisager d'utiliser la mesure de propagation de signaux au dessus d'un herbier pour mesurer globalement et en continu sa production d'oxygène [1], [2], [3]. L'hypothèse sous-jacente est que les produits de la photosynthèse peuvent influencer sur la propagation des sons sur plusieurs dizaines ou centaines de mètres.

Cet article met l'accent sur les résultats provenant d'un essai effectué en 1999 sur un herbier à Posidonie dans une zone peu profonde à proximité du rivage de l'île d'Ustica, au large de la côte nord de la Sicile. La deuxième partie rappelle le lien entre la photosynthèse et la génération de bulles qui influent sur la propagation acoustique et qui constitue le principe de base sur lequel s'appuie ces travaux. La troisième partie présente sommairement le schéma expérimental. La quatrième partie donne une analyse des données acoustiques et l'interprétation des résultats. Les conclusions et perspectives sont tirées en fin d'article.

2. BULLES, PHOTOSYNTÈSE ET ACOUSTIQUE

2.1 Caractéristiques de *Posidonia oceanica* (L.) Delile

L'espèce objet de ces travaux est une phanérogame endémique de la mer Méditerranée. Ses longues feuilles rubanées (figure 1A) sont regroupées dans des pousses qui se développent sur divers substrats à des profondeurs d'eau variant de 10 mètres à 50 mètres. La morphologie des feuilles permet une libération maximale d'oxygène photosynthétique dans le milieu ambiant. Le limbe de la feuille se compose d'un épiderme monocouche et d'un mésophylle à 3 ou 4 couches (figure 1B). La largeur de la feuille et son épaisseur sont respectivement d'environ 1 cm et d'environ 180 μ m. Le site majeur de la photosynthèse est l'épiderme, où les chloroplastes sont disposés de manière très dense dans de petites cellules allongées. La paroi externe des cellules de l'épiderme est formée par une couche extérieure continue (cuticule) et par une région poreuse sous-jacente beaucoup plus épaisse (d'environ 20 microns) avec des cavités de formes irrégulières. Le système lacunaire est constitué par des canaux interconnectés d'air au sein du mésophylle. Les dimensions particulièrement petites du système lacunaire sont une caractéristique distinctive de la Posidonie.

2.2 Oxygène photosynthétique

La photosynthèse est la principale force régissant les échanges de gaz entre l'eau de mer, les cellules de l'épiderme et le système lacunaire. En comparaison, l'activité respiratoire de la Posidonie est presque d'un ordre de grandeur plus faible et elle implique en grande partie le système lacunaire. Contrairement à d'autres plantes aquatiques, les échanges gazeux de la Posidonie avec l'eau de mer sont effectués par la diffusion moléculaire en raison de l'absence de stomates. Le processus de la consommation d'oxygène pour la respiration et la libération d'oxygène par photosynthèse est contraint par la couche limite (stationnaire) de diffusion, et dans une moindre mesure, par la cuticule et la paroi cellulaire.

La photosynthèse des herbiers à Posidonie augmente considérablement la quantité d'oxygène dissous dans la colonne d'eau. La figure 2 montre une série chronologique de 24 heures de mesures de la concentration d'oxygène à différentes profondeurs d'eau effectuées lors de l'étude d'un herbier à Posidonie de l'archipel toscan. La variabilité temporelle de la teneur en oxygène dans la colonne d'eau au dessus de l'herbier est déterminée principalement par le cycle quotidien de la productivité de l'oxygène, avec une différence entre le jour et la nuit de l'ordre de 1,5 parties par millions (p.p.m.). D'autres mesures dans cet archipel ont montré une dépendance à la profondeur et aux effets saisonniers, révélant également pour certaines des conditions de "super-saturation" sous la surface de la mer au printemps et en été [1]. Les valeurs de l'oxygène produit de plus de 10 l. m⁻² par jour ont notamment été rapportées pour des herbiers dans cette zone.

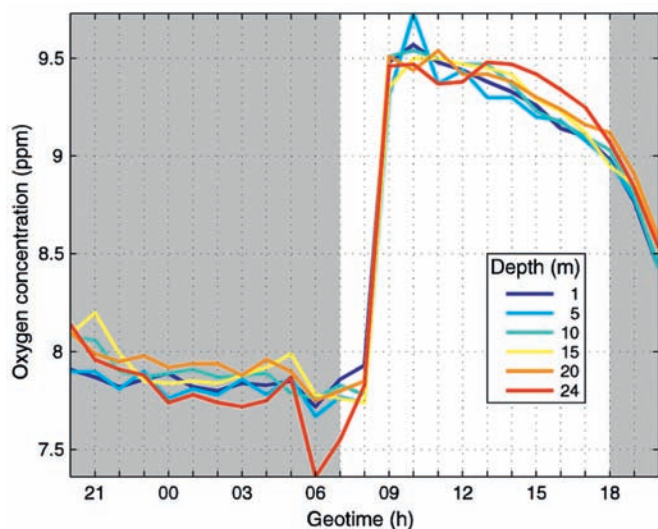


Figure 2 : Série temporelle de la concentration d'oxygène à différentes profondeurs d'eau mesurées sur un herbier à Posidonie de l'archipel toscan les 24 et 25 février 1997. Le lever du soleil et le coucher du soleil ont eu lieu respectivement à 07:00 et 18:00 heures.

2.3 Acoustique

Dans les eaux côtières, la teneur en gaz dans ses formes dissoutes et non dissoutes (bulles) est déterminée par le flux air-mer et des conditions spécifiques relatives à l'environnement et à la biomasse. Ces conditions comprennent notamment le processus de photosynthèse des plantes marines, les processus liés à la vie des animaux et à la décomposition des matières organiques. Il est bien établi que les bulles de gaz dans l'eau de mer ont une grande influence sur la propagation du son. La population de bulles est sensible aux processus physiques, chimiques et biologiques qui peuvent être très spécifiques à chaque environnement. Tel est le cas pour la photosynthèse, objet de la présente étude. La densité et la répartition du rayon des bulles varient avec la profondeur, l'heure de la journée, la saison, le vent, l'état de la mer, la turbidité, ... La présence de bulles de différentes tailles (10 - 500 μ m), provoque de la diffusion, de l'atténuation et de la dispersion qui dépendent chacune de la fréquence de résonance des bulles [5]. Au dessus de la fréquence de résonance, le milieu est très atténuant et dispersif. A des fréquences inférieures à la résonance, le mélange de bulles augmente la compressibilité de l'eau réduisant ainsi la vitesse du son à une valeur inférieure à celle en l'absence de bulle. L'impact de la taille et de la proportion de bulle sur la propagation acoustique est le principe de base de l'observation tomographique de la photosynthèse, principe qui sera illustré dans la suite de cet article.

3. L'EXPÉRIENCE "USTICA 99"

3.1 Site expérimental

L'expérience "USTICA 99" a été menée sur un herbier à Posidonie (figure 3) au large de l'île d'Ustica en septembre 1999. L'île est située dans la mer Tyrrhénienne méridionale, au large de la côte nord de la Sicile, à une distance de 65 km

de Palerme (13° 10' E, 38° 42' N). Dans la zone où les expérimentations ont été conduites, les plantes poussent directement sur un substrat de basalte. Elles forment un herbier relativement dense et en bon état de conservation.

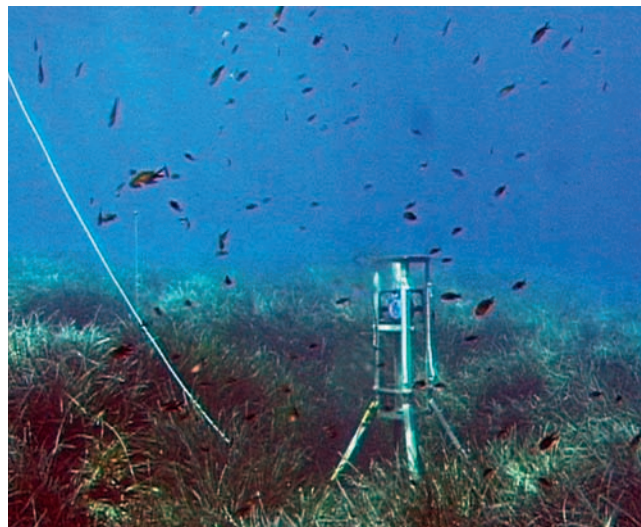


Figure 3 : Source sonore déployée sur le lit de l'herbier à *Posidonia oceanica* (L.) au large de la Sicile en septembre 1999. A noter la présence d'un banc de poissons près de la source.

3.2 Dispositif acoustique

Une source piézoélectrique et une antenne verticale de deux hydrophones distants de 53 mètres ont été mouillées dans l'herbier (figure 4). Afin de supprimer tout mouvement parasite des instruments sous des effets de courant, elles ont été fixées sur des structures rigides lestées et posées directement sur le fond. Des signaux modulés linéairement en fréquence dans la bande 200 Hz - 16 kHz ont été transmis de manière répétée entre la source et les récepteurs. La profondeur de l'eau dans la section verticale varie entre 8 m et 8,8 m. La source et les deux récepteurs ont été placés à des hauteurs respectives de 1,55 m, 0,3 m et 1,7 m au-dessus du fond. Le signal transmis est utilisé pour mesurer la réponse impulsionnelle du canal acoustique. Le signal de faible niveau et de longue durée (15,8 s), a été répété une fois par minute afin d'obtenir des statistiques suffisantes dans l'échantillonnage des processus physiques et biologiques sur les échelles de temps d'intérêt. Au final, près de trois mille signaux ont ainsi été transmis pendant quatre jours.

3.3 Mesures de l'oxygène et de l'environnement thermohalin et première corrélation avec les signaux acoustiques

Des mesures d'oxygène dissous, de température et de salinité ont été réalisées en parallèle aux mesures acoustiques. Pour obtenir un échantillonnage spatial vertical et un échantillonnage temporel de la colonne d'eau, les mesures ont consisté en une alternance de profils verticaux et de séries chronologiques au point fixe. Par exemple, la figure 5 montre la série temporelle de la concentration en oxygène dissous mesurée juste au-dessus du feuillage de la Posidonie en un point de la radiale acoustique. Afin de vérifier la corrélation entre les mesures physico-chimiques et les mesures acous-

gammas de rayons réfléchis en surface et au fond ainsi que différentes plages d'angle de rasances.

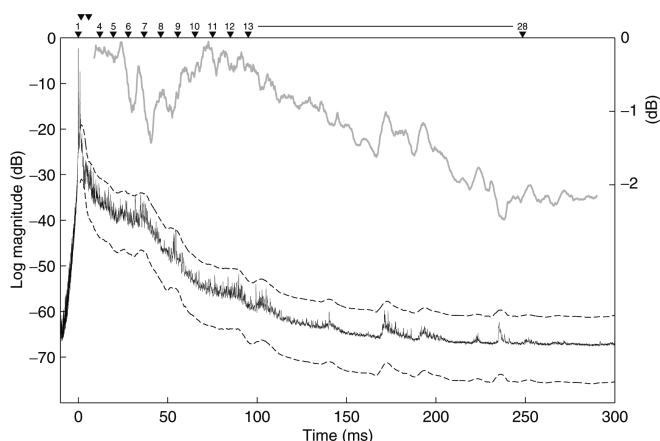


Figure 6 : Statistiques de la réponse impulsionnelle du milieu mesurée sur quatre jours sur l'hydrophone supérieur. La ligne noire est l'enveloppe journalière, calculée à partir de la médiane de l'enveloppe au carré de toutes les mesures. Les lignes en pointillés sont les centiles (lissées) 10 et 90, ce qui signifie que 80 % des courbes se trouvent entre ces allures extrêmes. La ligne grise est la différence entre les moyennes de jour et de nuit. L'origine de l'échelle de temps est donnée par la première arrivée acoustique. Les flèches indiquent, pour chaque ensemble de trajets, le nombre de réflexions sur le fond et la surface (SBR) et le temps relatif moyen prédit par un modèle de rayons.

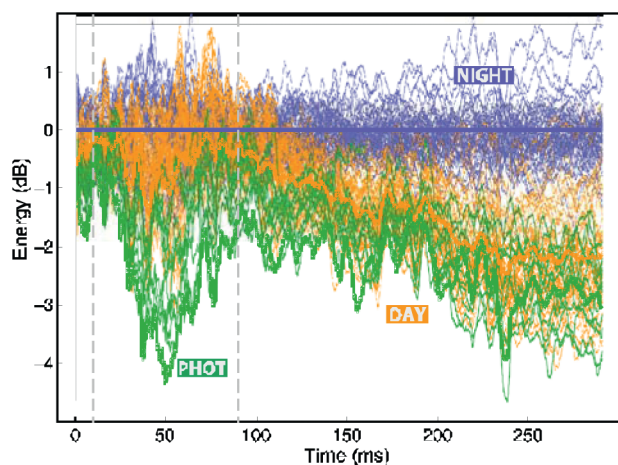


Figure 7 : Variabilité de la réponse impulsionnelle du milieu (fenêtre temporelle de 1 à 290 ms). Chaque ligne fine correspond à la différence entre les médianes des réponses impulsionnelles calculées sur une demi-heure et sur 3 nuits. Les lignes bleues correspondent aux mesures de nuit (entre 07:00 heures et 19:30 heures) sur les 4 jours. Les lignes orange correspondent aux mesures heure par heure pendant les 4 jours. Les lignes vertes correspondent aux mesures entre 13:00 heures et 16:00 heures, durant une période active de photosynthèse (sur un jour). Les lignes verticales indiquent la fenêtre de temps qui correspond à des angles de rasances intermédiaires entre 40° et 70°. Ces données sont celles de l'hydrophone du haut du 22 au 25 septembre 1999.

La première partie de la réponse acoustique (de 0 à 10 ms) correspond à des rayons directs ou comportant un nombre faible de réflexions sur la surface et le fond (moins de 3). Cette partie est moins variable que le reste de la réponse. Ceci s'explique par le fait que les trajectoires sonores "traversent" peu de fois le milieu et sont donc naturellement moins sensibles aux perturbations éventuelles. Le reste de la réponse impulsionnelle montre pour sa part une forte variabilité en terme de rapport signal à bruit sous l'effet des changements du milieu naturel.

La partie médiane de la réponse, entre 10 et 90 ms, correspond à des rayons avec des angles intermédiaires de rasance (entre 40° et 70°) et un nombre de réflexions compris entre 4 et 12. Ces trajectoires sont principalement sensibles à la réflexion et à la diffusion de l'énergie dans la direction spéculaire. A chaque réflexion, l'énergie subit l'impact de la présence de bulles. Le nombre de réflexions est suffisant pour mettre en évidence l'impact sur chaque trajectoire et d'autre part modéré pour ne pas noyer cet impact dans le bruit de fond. De plus, le fait que les réflexions ont des angles intermédiaires (en particulier en dessous de l'angle critique) assure une grande sensibilité de ces chemins à la photosynthèse par les effets combinés de la perte d'énergie due (a) à la réflexion sur un demi-espace de basalte et (b) à l'indice de réfraction de la couche d'herbe qui varie en fonction de la quantité de bulles et donc de l'activité photosynthétique [6].

Enfin, la queue du signal, de 90 à 290 ms, est dominée par la diffusion aux rasances les plus fortes. Si l'identification des trajectoires n'est plus aussi aisée, l'analyse globale des niveaux dans cette partie révèle une différence marquée entre le jour et la nuit. Il convient aussi de considérer que cette différence est biaisée par la variation naturelle du bruit ambiant biologique [6].

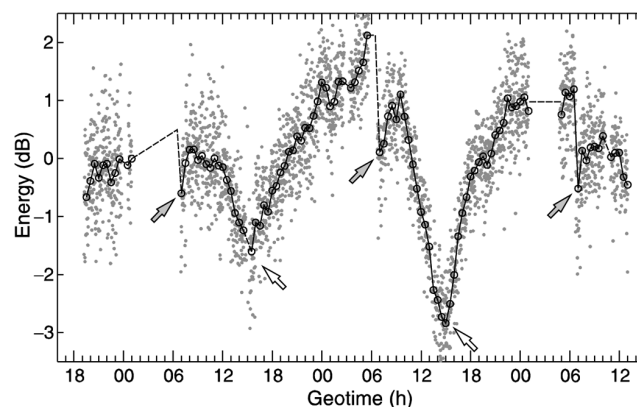


Figure 8 : Variation d'énergie de la réponse du milieu acoustique en fonction du temps. La fenêtre de temps d'intégration est de 35 à 45 ms, correspondant aux rayons ayant 7 réflexions à la surface et au fond. En gris : données brutes. Les cercles et les lignes correspondent à l'énergie médiane sur une demi-heure. Les flèches grises et blanches correspondent aux maxima des phases de respiration et de photosynthèse respectivement.

La figure 8 montre la variation en fonction du temps de l'énergie reçue pour l'ensemble des chemins acoustiques ayant 7 réflexions en surface et au fond, ce qui correspond à un angle de rasance moyen de 61°. La courbe de l'énergie,

gie, renversée dans le sens vertical, est reproduite en figure 5 pour une comparaison directe. La similitude de forme entre les séries temporelles d'oxygène dissous et le suivi acoustique est remarquable. Le minimum d'énergie, bien marqué à 15 heures, correspond à la concentration maximale d'oxygène à proximité du feuillage (flèches blanches). A contrario, le maximum d'énergie coïncide avec le minimum de concentration d'oxygène à 6 heures. La différence d'énergie de 5 dB entre 6 heures et 15 heures représente une atténuation supérieure d'environ 0,7 dB par rebond sur le fond. Un minimum d'énergie local a été constamment observé à 7 heures pour les trois jours (flèches grises), ce qui correspond au minimum de concentration d'oxygène à la fin de la phase respiratoire. On a remarqué également un excès d'atténuation que l'on peut attribuer au flux concomitant de gaz vers les rhizomes et les racines, comme il sera expliqué dans la section suivante.

4.2 Interprétation des résultats

Une analyse approfondie des données montre que les principales variations d'énergie acoustique, observées sur une échelle journalière, étaient indépendantes du cycle des marées et des changements de conditions de vent et de température sous la surface de l'eau [6]. En particulier, les petits changements du profil de vitesse du son dans la colonne d'eau ne contribuent pas de manière significative aux variations acoustiques diurnes. Ces dernières s'expliquent en effet principalement par le changement de la proportion de gaz dans la couche de plantes. Ces mécanismes d'échanges gazeux ne s'appliquent d'ailleurs pas seulement à la Posidonie, mais sont régis de manière générale par le mouvement gazeux dans les herbiers [7].

Comme le tissu photosynthétique est concentré dans l'épiderme, les cellules épidermiques sont le siège d'une accumulation d'oxygène lorsque l'on passe de l'obscurité à la lumière. Le gradient de diffusion qui en résulte provoque une diffusion de l'oxygène vers le système lacunaire et le milieu ambiant. En début de processus, sous faible luminosité, l'oxygène s'accumule dans la paroi poreuse sous la cuticule et dans les petits espaces d'air du mésophylle. Cela provoque une augmentation de la concentration en oxygène et de la pression dans le limbe de la feuille. Cette mise en pression initiale provoque un écoulement transitoire du gaz du système lacunaire vers les rhizomes et les racines. Puis, avec le rayonnement croissant, l'oxygène commence à se diffuser dans l'eau de mer et les bulles qui se forment adhèrent à la feuille. Alors que les grosses bulles de gaz dans l'eau ont normalement tendance d'une part à éclater en raison de la diffusion gazeuse forcée par la tension de surface ou d'autre part à remonter rapidement à la surface en raison de leur flottabilité, l'apport continu en oxygène dans le cas de la Posidonie combiné à l'effet d'adhérence permettent de maintenir une grande proportion de bulles d'oxygène à proximité du fond de la mer, en plus de l'oxygène présent dans la paroi poreuse et la présence de gaz dans le système lacunaire. La séquence d'événements décrite ci-dessus est en tout point compatible avec les observations acoustiques qui établissent un lien de cause à effet entre le cycle quotidien de photosynthèse et les principales variations acoustiques observées, à savoir, les minima et les maxima absolus représentés en figure 8. Par ailleurs, le flux de gaz vers les

rhizomes et les racines lorsque la luminosité augmente et l'inverse lors de la disparition de la lumière modifie la proportion de vide dans la matte. C'est ce qui explique les minima locaux de la figure 8.

5. CONCLUSION

Les résultats expérimentaux présentés dans cet article montrent que les produits de la photosynthèse par la Posidonie ont un impact sur la transmission du son dans la colonne d'eau au dessus d'un herbier de Posidonie. L'analyse des variations temporelles de certaines caractéristiques du canal acoustique, comme en particulier l'atténuation énergétique le long de trajectoires sonores bien choisies, révèle l'existence d'un cycle journalier. Les principales variations diurnes s'expliquent par la diffusion en fonction du temps et de l'absorption de l'énergie acoustique dans la plante et dans la matte. Durant le jour, où l'irradiance est suffisante, des bulles d'oxygène se forment par photosynthèse sur le limbe et des échanges gazeux se font au sein de la matte. Les mouvements de gaz au dessus de l'herbier et en son sein interagissent avec l'énergie acoustique propagée au dessus de l'herbier et réfléchi sur le substrat rocheux. L'analyse de ces interactions permet de dresser les bases d'une méthode d'observation acoustique d'un herbier. A ce stade, les résultats permettent d'établir un lien de cause à effet entre la photosynthèse et les variations acoustiques. La suite naturelle de ce travail sera de poser et résoudre le problème inverse, c'est-à-dire de remonter aux paramètres physico-chimiques de la photosynthèse à partir des mesures tomographiques.

AVERTISSEMENT

Certaines parties de ce travail ont été publiées par l'auteur en langue anglaise sous la référence [6].

BIBLIOGRAPHIE

- [1] HERMAND J-P, NASCETTI P. and CINELLI F.: "Inversion of acoustic waveguide propagation features to measure oxygen synthesis by *Posidonia oceanica*", in *Proceedings of the Oceans '98 IEEE/OES Conference* (C. O. Committee, ed.) (vol. II, (Piscataway, NJ), pp. 919–926, IEEE, Sept. 1998).
- [2] HERMAND J-P., NASCETTI P. and CINELLI F.: "Inverse acoustical determination of photosynthetic oxygen productivity of *Posidonia* sea grass" (Dordrecht, pp. 125–144, Kluwer Academic, June 2000).
- [3] NASCETTI P.: "Rilievi stagionali e circadiani della produzione di ossigeno di praterie di *Posidonia oceanica* in supporto ad uno studio di inversione acustica". *Tesi di laurea in scienze biologiche*, Facoltà di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali, Genova, 1998.
- [4] COLOMBO P., RASCIO N. and CINELLI F.: "*Posidonia oceanica* (L.) Delile: A structural study of the photosynthetic apparatus". *Marine Ecology* (vol. 4, no. 2, pp. 133–145, 1983).

[5] CLAY C. S. and H. MEDWIN H. *Acoustical Oceanography: Principles and Applications*. New York: Wiley, 1977.

[6] HERMAND J-P.: "Acoustic remote sensing of photosynthetic activity in sea grass beds", in *Scaling Methods in Aquatic Ecology. Measurement, Analysis, Simulation* (L. Seuront and P. G. Strutton, eds., chapter 5, pp. 65–96, Boca Raton, Florida: CRC Press LLC, 2004).

[7] LARKUM A., Mc COMB A. and SHEPHERD S.: "*Biology of Sea grasses*". New York: Elsevier, 1989.

[8] BOUDOURESQUE C. F., BERNARD G., BONHOMME P., CHARBONNEL E., DIVIACCO G., MEINESZ A., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., RUITTON S. et TUNESI L. : "Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*". (Ramoge, pub. 1-202, n° ISBN 2-905540-30-3, 2006).