

L'application des Systèmes Acoustiques de Classification Automatique des natures de Fonds pour la cartographie des habitats : SACLAF

A. EHRHOLD¹

Résumé

Aucun levé d'imagerie n'a la prétention de fournir une information exhaustive, détaillée et absolue du fond. C'est encore plus vrai avec les SACLAF, mais une bonne connaissance de leur potentialité permet de définir des objectifs de levés réalistes et réduire les niveaux d'incertitude sous un seuil acceptable. Les SACLAF mesurent les propriétés acoustiques du fond et non directement les caractéristiques sédimentaires et/ou biologiques. Ces systèmes sont le plus souvent associés à des moyens visuels de caractérisation du fond afin d'être calibrés correctement. Comme tous les autres systèmes d'imagerie, la capacité des SACLAF à différencier les habitats (biotopes et les communautés benthiques associées) est fonction de la complexité de leur distribution spatiale. Dans cet esprit, les objectifs souhaitables pour un levé utilisant essentiellement un SACLAF sont :

- De réaliser un levé très étendu pour les grandes zones afin de cartographier la distribution et l'extension d'un nombre limité d'habitats (max. 15). Ce type de levé est très utile pour rassembler l'information dans les zones pauvres en données disponibles.
- D'établir des cartes facilitant l'aide à la sélection de sites pour des levés plus détaillés. Elles peuvent être utilisées dans les zones caractérisées par un habitat particulier et ainsi réduire l'effort des moyens à mettre en œuvre et les coûts.
- De pratiquer une investigation rapide d'un petit nombre de habitats bien définis pour apprécier leur évolution dans le temps.

Contexte

• Principe de fonctionnement d'un sondeur mono-faisceau vertical

Quels que soient les systèmes acoustiques de classification automatique des fonds, leur simplicité vient du fait qu'ils sont connectés à un sondeur vertical mono-faisceau dont l'ouverture est généralement comprise entre 5-55°. Une source sonore produit des impulsions, à une fréquence donnée, par une base acoustique fixée sous la coque du bateau ou bien montée sur une perche. Le système est à la fois émetteur et récepteur. L'impulsion électrique, à une fréquence donnée, est transformée en énergie mécanique par la vibration des éléments piézoélectriques du transducteur. Les ondes ultra-sonores émises par la base du sondeur se propagent sous la forme d'un cône émis dans la direction du fond, à la verticale du bateau. La géométrie de ce cône acoustique est contrainte par la géométrie des lobes d'émission et l'angle qu'ils font avec le plan transversal. Les fréquences les plus communes sont 30 et 200 kHz. Les ondes acoustiques se réfléchissent sur le fond et retournent au transducteur qui les reconvertit en signal électrique. Le temps entre l'émission et la détection est fonction de la profondeur. La durée de l'émission et la fréquence sont définies pour chaque sondeur vertical. La zone insonifiée sous le bateau dépend de l'angle d'ouverture du sondeur et de la profondeur. Par exemple, un sondeur avec une ouverture de 15°, éclaire une surface de 1,25 m de diamètre à 5 m de profondeur et de 15 m à 60 m de profondeur. Les ondes, au centre du cône, retournent plus vite au transducteur. Les ondes directes sont utilisées pour calculer la profondeur. Les ondes annexes reviennent avec moins d'énergie car la distance qu'elles parcourent dans l'eau est plus grande. Elles renferment cependant des informations utiles sur les propriétés acoustiques du

¹ IFREMER DEL/EC



substrat. L'intensité des échos du fond produit en retour un signal complexe dont la courbe enveloppe dépend d'une large manière de ses propriétés physiques.

Ces informations acoustiques sont interprétées en terme de "dureté" acoustique (coefficient de réflexion acoustique) et de "rugosité" acoustique (coefficient de diffusion). Un fond dur et lisse produira des échos forts qui disparaissent rapidement en générant souvent un ou plusieurs échos multiples, après rebond sous la surface et à nouveau sur le fond. Inversement, un fond rugueux et meuble produira des échos faibles liés à une dispersion plus grande dans le milieu, mais d'une durée plus longue. Pour diminuer les bruits acoustiques, du fait des mouvements du capteur et de la variabilité naturelle des échos, 10 pings (retour d'impulsions) sont généralement moyennés.

Les SACLAF reposent donc sur ce principe, à savoir que les types de fond peuvent être distingués par leurs propriétés de réflectivité. Cette réflectivité dépendra de la quantité d'énergie diffusée, fonction de la nature granulométrique du fond et de l'angle d'incidence (fig. 1). La différenciation des fonds sera plus facile pour des angles supérieurs à 20°.

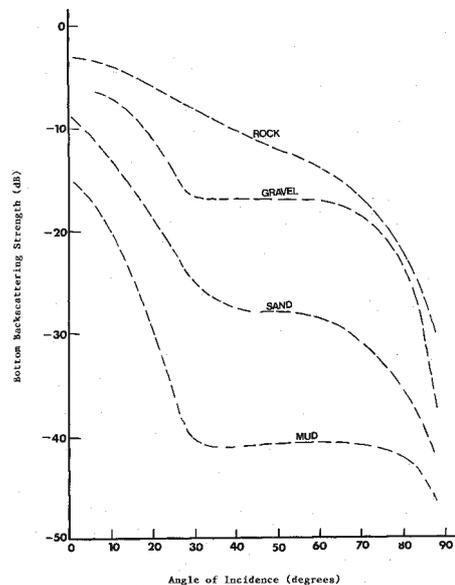


Fig. 1 : Influence de l'angle d'incidence sur l'intensité en db de réflexion de différents types de fond

- **Les 3 paramètres qui conditionnent un SACLAF**

La fréquence

Du choix de la fréquence d'émission, soit basse (10 à 50 kHz), soit haute (200 kHz), dépendra les limites d'utilisation du système. Plus la fréquence est élevée et meilleure sera la définition des objets à la surface du fond, mais la plage de mise en œuvre sera alors limitée (environ 50 m de profondeur pour 200 kHz). A contrario, plus elle est basse et moins les détails seront perceptibles, mais la plage d'utilisation sera plus élevée (plateau continental). La fréquence est également importante car elle va moduler les réponses des systèmes acoustiques en fonction du degré de pénétration des ondes dans le substrat. A hautes fréquences, cette pénétration est de quelques centimètres à décimètres, alors qu'elle peut atteindre plusieurs mètres à basses fréquences dans des sédiments fins comme des vases meubles.

La pénétration des ondes dans le sédiment (volume de réverbération) et la présence de réflecteurs en surface peut donc affecter l'allure du front d'ondes. En fonction de la complexité du fond (figures sédimentaires, recouvrement biologique) et de la fréquence du sondeur, les réflexions peuvent être très variables, ce qui rend parfois l'utilisation des SACLAF très ambiguë. D'où la nécessité d'établir un protocole de calibration stricte et propre à chaque zone.

Il est possible de coupler les SACLAF à des sondeurs bi-fréquences. Lorsque l'acquisition est synchrone, leur combinaison peut alors fournir des informations complémentaires sur la nature du substrat sédimentaire.

La puissance

Le signal s'atténuant avec la profondeur, les SACLAF utiliseront par grande profondeur, une puissance plus forte et des fréquences plus faibles qui s'atténueront moins vite. L'intensité du signal varie pour des sondeurs d'une même fréquence. La plupart des systèmes ajustent automatiquement la puissance de sortie en accord avec la gamme de profondeur.

L'ouverture et la géométrie des bases

Les transpondeurs façonnent le son de différentes manières et son émission, décrite sous la forme d'un cône, est une traduction simpliste de la complexité des ondes envoyées par les différents lobes qui composent la base acoustique du sondeur.

• Les principales unités de traitement des échos acoustiques (UTEA)

Les principaux systèmes disponibles sur le marché sont au nombre de deux. D'autres systèmes concurrents existent mais, soit ils sont trop récents et non pas été encore véritablement testés (cas d'un SACLAF mis au point par Simrad), soit leur utilisation demeurent encore exclusive (système Echo Plus de la société SEA). Ils ont tous la particularité d'être portables et d'être déployés avec un minimum d'équipement.

Le système RoxAnn de Marine Micro System Ltd, Aberdeen

Il s'agit probablement du SACLAF le plus distribué (plus de 700 unités) depuis 13 ans (Chivers et al., 1990 ; Chivers and Burns, 1992) et le plus employé à des fins de reconnaissance des habitats marins. Il a été employé avec succès pour cartographier directement les biocénoses à maërl (De Grave et al., 2000), les récifs coralliens (Williamson A., 1998), les fonds recouverts de moules (Service M., 1998). Son utilisation réside dans sa capacité à détecter la nature des fonds qui est, *à posteriori*, corrélée aux peuplements faunistiques par échantillonnage stratifié (Pinn et al., 1998 ; Provencher et al., 1997 ; Murphy et al., 1995 ; Sotheran et al., 1995). C'est également le cas dans la recherche des habitats à poissons plats (Greenstreet et al., 1997) ou à harengs (Maravelias et al., 2000) et de nombreux mollusques à valeur commerciale, telles que les coquilles Saint-Jacques (Kaiser et al., 1998 ; Magorrian et al., 1995). L'effet de la bioturbation par *Nephrops norvegicus* sur la micro-topographie et la rhéologie du sédiment a été utilisé par Pinn et Roberston (1998) pour cartographier les limites de répartition de cette espèce.

Les échos acoustiques sont transformés en indices de rugosité E1 et de dureté E2 par un boîtier électronique (fig. 2) qui mesure l'intensité du signal intégré sur le temps (en millivolts).

Ces deux indices sont calculés sur la base du retour d'échos directs, selon un certain angle et d'échos indirects (multiples). E1 correspond à la terminaison du premier écho dont le pic sert à calculer la profondeur (fig. 3). Le second écho résulte de la réflexion double des ondes sur le fond et une fois sur la surface (fig.4). Etant beaucoup plus faible qu'E1, il est amplifié. Les deux variables sont combinées dans un diagramme cartésien XY, sous la forme de boîtes définies par les valeurs minimum et maximum de E1 et E2, et un codage selon une couleur qui représentera la correspondance à un type de fond à l'écran (fig. 5). Il existe une relation entre l'intensité des indices et le type de fond. Un fond meuble vaseux sera caractérisé par des faibles valeurs de E1 et E2, à l'inverse d'un substrat rocheux (fig. 6).

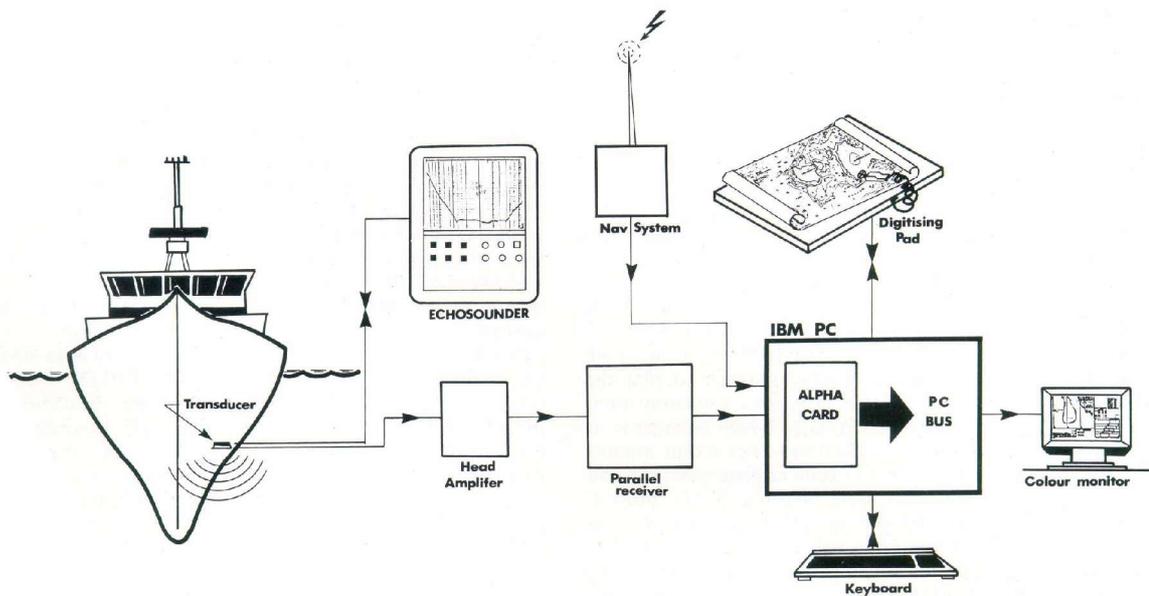


Fig. 2 : Schéma des composants électroniques du système RoxAnn

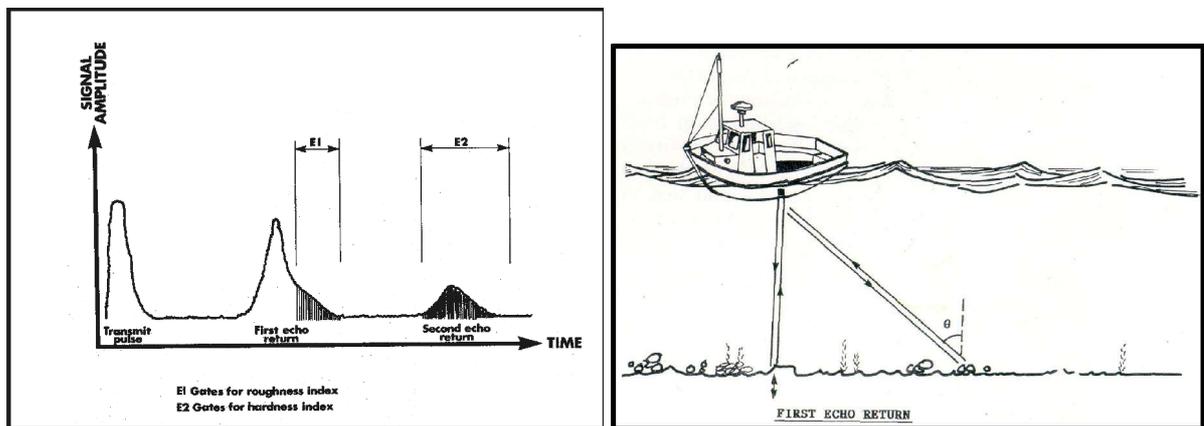


Fig. 3 : Premier écho du fond analysé par RoxAnn pour définir E1

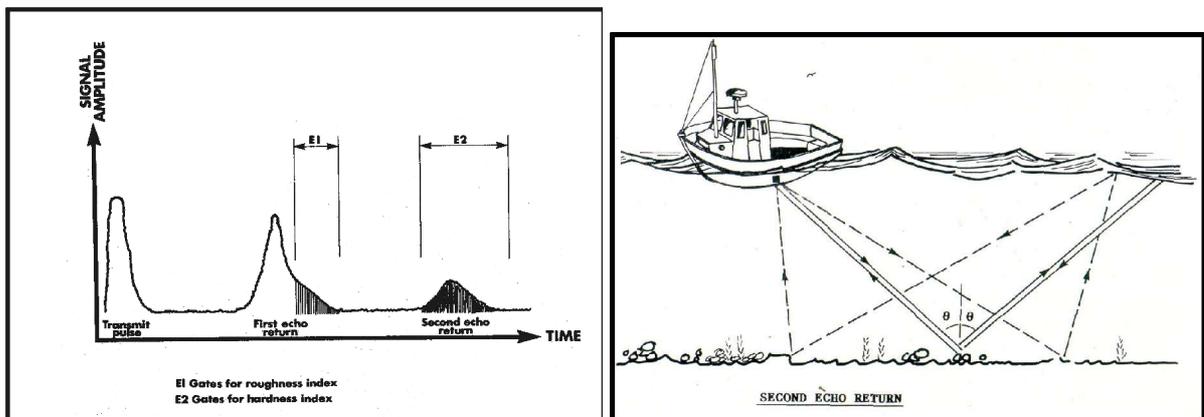


Fig. 4 : Second écho du fond et premier multiple analysé par RoxAnn pour définir E2

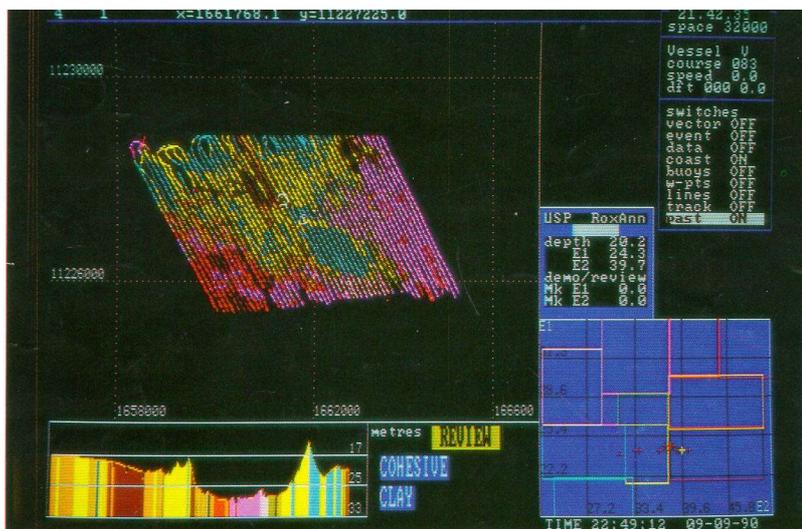


Fig. 5 : Exemple de restitution à l'écran des données RoxAnn en temps réel

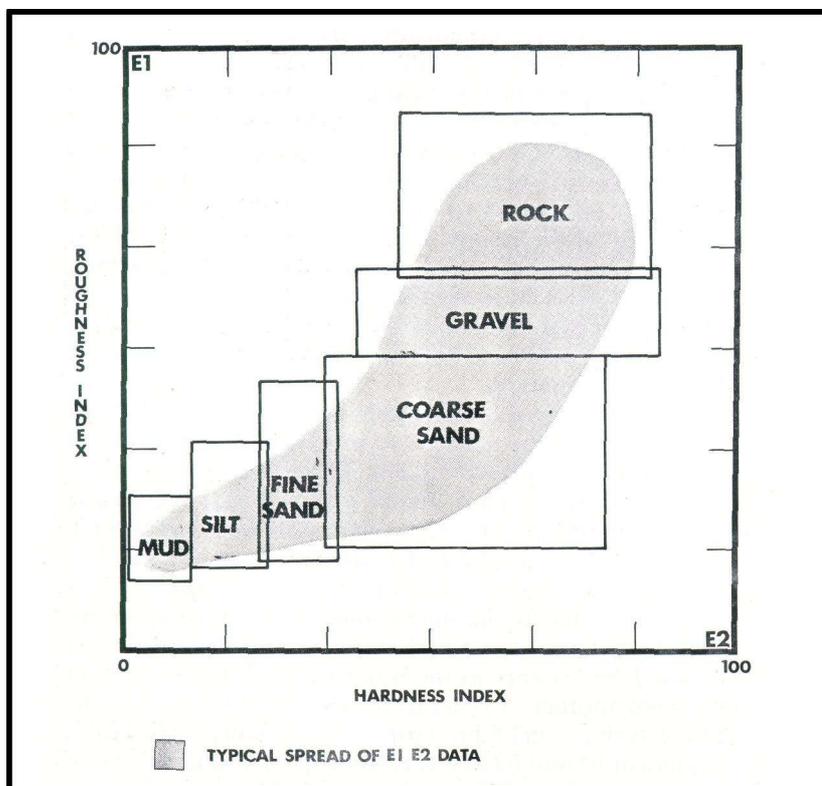


Fig. 6 : Relation de principe entre la rugosité E1 et la dureté E2

Le système QTC-View™ : (Société Quester Tangent Corporation, Sydney, Canada)

Il fonctionne différemment de RoxAnn. L'écho analogique est converti en numérique et passe dans de nombreux algorithmes qui analysent sa forme (Collins et al. 1996). Il examine l'allure de régions spécifiques du front d'ondes retourné en ne s'intéressant qu'au premier écho et effectue une analyse tridimensionnelle du signal acoustique. Pour des raisons commerciales, le choix des algorithmes et la façon dont ils sont appliqués ne sont pas connus par l'utilisateur. A l'inverse de RoxAnn, le second écho n'est pas utilisé mais le logiciel d'acquisition intègre la profondeur. Le système peut fonctionner en mode supervisé ou non supervisé. Dans le premier cas, il s'agit de positionner le bateau sur des types de fonds connus. L'exercice est répété pour différents types de fonds de la zone et la combinaison des données (166 paramètres) est analysée en composantes principales ACP. Les

résultats Q1, Q2 et Q3 sont visualisées dans un graphique tridimensionnelle appelé *Q space*. Cet espace est divisé en régions reliées à un type de fond et regroupées dans un catalogue. Cette base de données peut-être appliquée sur la zone à lever, la classification se fait alors en temps-réel. Le second cas offre plus de flexibilité sans nécessité de calibration. Le signal passe dans les mêmes algorithmes mais toutes les variables utilisées pour l'ACP sont appliquées à l'ensemble du jeu de données. Le logiciel identifie des groupes « naturels » acoustiquement différents qui peuvent être dans un deuxième temps calibrés par des données ponctuelles.

RoxAnn et QTC *View* travaillent en temps réel et requièrent une calibration par des moyens complémentaires, des boîtes ou des groupes acoustiques différenciés. Dans la suite de cette fiche, seul le système RoxAnn sera présenté, mais les deux systèmes ont abondamment été comparés dans la bibliographie (Hamilton, 2001).

Equipements du système RoxAnn

- un bateau avec cabine pour installer et protéger l'électronique embarquée (une petite embarcation stable est préférable dans les eaux littorales peu profondes),
- un amplificateur,
- l'interface électronique montée dans un rack : ultra sonic processor,
- un PC avec le logiciel d'acquisition,
- un GPS différentiel propre au système pour limiter les interférences avec les autres systèmes d'acquisition et pour situer l'antenne au-dessus du transducteur, afin de minimiser les erreurs de localisation,
- un échosondeur : Si le SACLAF est susceptible d'être utilisé sur plusieurs bateaux, il est préférable d'adopter une version portable. Le choix de la fréquence et de la puissance seront fonction de la profondeur des zones de travail ; 50 m de profondeur est la limite à partir de laquelle il est préférable d'utiliser une fréquence plus basse (50 kHz).

Les connexions, avec le sondeur et le PC supportant le logiciel d'acquisition sont relativement simples (RS232 vers port série). Il est préférable toutefois de laisser à un spécialiste (électronicien) la réalisation du montage et la vérification du câblage.

Logistique

• Planification du levé et vérification du matériel

La visualisation en temps réel à partir des logiciels spécialisés comme Microplot, RoxMap ou d'autre logiciels (Searano) peut être utilisée pour modifier rapidement les coordonnées des profils (QTC *View* ne permet pas cette visualisation). Il devient alors plus facile de planifier et de gérer les profils :

- *Réguliers relativement espacés*. Lorsque la variabilité acoustique est importante le long du profil, il devient nécessaire de resserrer le plan d'échantillonnage avec des profils intermédiaires pour tenir compte de l'hétérogénéité des fonds. Si la distance inter-profils est supérieure à 500 m la qualité de l'interpolation en sera affectée.
- *Le long des côtes rocheuses* où la topographie est complexe avec la présence de hauts-fonds et d'îles, il est important d'acquérir des données RoxAnn, même si celles-ci sont enregistrées moins vite pour des raisons de sécurité. Une profondeur minimum (quelques mètres) est nécessaire pour utiliser les SACLAF et plus spécialement avec QTC *View*.



- **La calibration des systèmes et la vérification des données**

La phase de pré-calibration électronique

Il est souhaitable de réaliser, sur toute nouvelle zone à lever, une pré-calibration qui consiste à repérer un fond homogène de vase ou de sables fins (fonds étalons) et d'en définir les couples moyens de E1/E2 en fonction de la fréquence du sondeur. Cette étape est suivie par l'acquisition des données RoxAnn, selon deux grands profils sécants traversant toute la zone. Il s'agit de cette façon, de balayer la plus large signature de faciès bio-sédimentaires afin de connaître les valeurs min. et max. de E1 et E2 et s'il y a lieu d'ajuster les réglages sur l'amplificateur. Cette configuration est suivie de la calibration des jeux de données RoxAnn qui sera fonction de la stratégie adoptée pour le levé.

Parmi les paramètres à fournir au logiciel d'acquisition (voir Documentation technique RoxAnn), le choix de la cadence d'acquisition est obligatoire et joue un rôle important dans la résolution finale du système (tab. 1 et 2). Elle peut varier de quelques secondes à plusieurs minutes. A la différence de RoxMap, pour des logiciels comme Microplot ou Searano, ce n'est pas la dernière donnée enregistrée qui est sauvegardée mais la moyenne des données sur la période d'acquisition (intégration toutes les 2 secondes par exemple). Ces logiciels effectuent donc naturellement un lissage, qui pour être minimisé, nécessite de prendre une période aussi courte que possible. Dans le cas d'une acquisition avec Microplot ou Searano sur des fonds entre 10 et 20 m, la meilleure période serait de 3 secondes (tab. 2), permettant d'insonifier tout le fond le long du profil avec un léger recouvrement pour les profondeurs plus importantes.

Le niveau d'incertitude sur la position fournie par le DGPS, l'empreinte du cône d'insonification sur le fond et la fréquence d'échantillonnage vont limiter la résolution des SACLAF. Par exemple, à 10 m de profondeur, à 10 km/h, pour un sondeur à 15° d'ouverture, et une erreur GPS de 10 m, la surface au fond représente environ 13x20m.

	Ouverture à 7°	Ouverture à 15°
Profondeur	Diamètre au fond (m)	Diamètre au fond (m)
5	0,6	1,3
10	1,2	2,6
15	1,8	3,9
20	2,4	5,3
25	3,1	6,6
30	3,7	7,9

Tab. 1 : Résolution d'un sondeur vertical sur le fond

Ouverture à 7° - Vit 5 nœuds (15°)		Profondeur (m)					
Acquisition (s)	Distance parcourue (m)	5	10	15	20	25	30
1	2,6	-2 (-1,3)	-1,4 (0)	-0,8 (1,3)	-0,2 (2,7)	0,5 (4)	-1,1 (5,3)
2	5,1	-4,5 (-3,8)	-3,9 (-2,5)	-4,3 (-1,2)	-2,7 (0,2)	-2 (1,5)	-1,4 (2,8)
3	7,7	-7,1 (-6,4)	-6,5 (-5,1)	-5,9 (-3,8)	-5,3 (-2,4)	-5,5 (-1,1)	-4 (0,2)
4	10,3	-9,7 (-9)	-9,2 (-7,7)	-8,5 (-6,4)	-7,9 (5)	-7,2 (-3,7)	-6,6 (-2,4)

Tab. 2 : Relation entre la période d'acquisition et la profondeur pour un sondeur dont l'ouverture est de 7° ou 15° et une vitesse constante de 5 nœuds

Il n'existe pas de paramétrage idéal qui convienne à toutes les situations. C'est d'autant plus vrai que la zone à explorer possède une bathymétrie complexe. Dans un secteur où la bathymétrie varie de 5 à 30 m, le fond est théoriquement complètement insonifié, sans recouvrement, avec une acquisition toutes les secondes à 10m, toutes les 2s à 20m et toutes les 3s à 30m. Il faut donc faire un compromis dans le choix de la cadence d'échantillonnage en ayant une bonne connaissance au préalable des profondeurs min. et max. du secteur.



Le constructeur préconise de réaliser la calibration du système pour un sondeur à 33 khz sur un fond sableux entre 30 et 50 m de profondeur et un fond vaseux dans un port à 200 khz. Le gain de l'amplificateur est alors ajusté pour fournir un signal suffisant pour détecter ces échos. L'objet et le résultat de cette calibration électronique sur le site est de fournir par la suite des valeurs brutes de E1 et E2 invariables, sans avoir à retoucher au gain.

La phase de validation des données RoxAnn sous SIG

En fin de journée, ou après la période d'acquisition, les données RoxAnn sont rejouées sur SIG. Les logiciels d'acquisition RoxAnn permettent d'exporter dans un fichier ASCII les données brutes avec pour chaque enregistrement les coordonnées du point, les valeurs de E1, E2, la profondeur, l'heure et la date. Il est donc très facile d'intégrer ces fichiers dans un logiciel de cartographie géoréférencée (Surfer™, Arcview, Mapinfo...) permettant de visualiser des cartes de rugosité et de dureté et d'en extraire rapidement des points d'échantillonnage pour la calibration des échos faciès.

La phase de calibration des échos types

Les SACLAF permettent dans l'absolu de fournir une discrimination en temps-réel des « habitats » ou tout du moins du substrat qui le supporte. Il est donc essentiel de réaliser des prélèvements ou des observations pour valider les données acoustiques. Pour cela :

- La totalité des types de fonds acoustiques doivent être échantillonnés. Pour ne pas oublier d'écho faciès RoxAnn, il convient d'identifier tous les groupes RoxAnn à partir du croisement de l'indice de rugosité et de dureté défini dans le diagramme E1/E2.
- Chaque type de fond reconnu par le système RoxAnn doit être échantillonné à deux reprises pour augmenter le niveau de confiance de la calibration au moment de la phase d'interpolation.

La calibration des données RoxAnn doit être adaptée aux objectifs de la mission et à la nature des fonds. Sur des substrats rocheux, on mettra en œuvre de préférence des moyens d'imagerie acoustique ou de vidéo sur bâti ponctuel, dans d'autres conditions, les prélèvements à la benne, les images vidéo ou l'intervention de plongeurs peuvent suffire à déterminer la nature du fond. Pour un échantillonnage rapide, la vidéo passive et les prélèvements sont idéaux, surtout pour calibrer les SACLAF sur plusieurs sites. La vidéo permet d'observer les fonds à la même échelle que l'empreinte d'un échosondeur. Il est préférable de l'utiliser ponctuellement pour réduire les erreurs sur la position, et sur de courte durée liées aux mouvements du bateau et aux courants qui peuvent faire varier la position de la structure au fond. La vidéo est idéale pour caractériser les biotopes (épifaune et flore), elle est aussi très utile pour identifier les structures sédimentaires (mégarides, fragments de coquilles, bioturbation et récifs à biohermes). Cependant, elle se révèle inadaptée lorsque la visibilité est médiocre ou le courant trop violent. L'échantillonnage sédimentaire est nécessaire pour valider les types de sédiments et l'endofaune. Il est possible que RoxAnn ne fasse pas la différence entre un type de fond sédimentaire caractérisé par des associations benthiques différentes. En effet RoxAnn n'intègre pas la profondeur dans le calcul de E1 et E2 qui est un facteur limitant la répartition de certaines espèces.

Méthodologie de gestion et de traitement des données

Les traitements des données RoxAnn peuvent être regroupés en 3 étapes :

- (1) - l'exploration des données et des traitements préliminaires qui conduisent à épurer les fichiers bruts et à préparer l'étape d'analyse ;
- (2) - l'interpolation des données qui conduit, à partir d'un semis de point RoxAnn, à une couverture continue ;
- (3) - la classification des données qui conduit, à partir de classes acoustiques, à des types de substrats ou d'habitats caractérisés par leurs propriétés sédimentaires et/ou biologiques.



Les logiciels requis pour l'analyse et l'interprétation :

- l'exploration et la filtration des données (Excel, Arcview...),
- les outils d'interpolation et d'analyse spatiale statistique (Surfer, verticalMapper, Arcview, Mapinfo),
- la classification : logiciel de traitement d'image (Erdas imagine, ER Mapper et Idrisi).

• L'exploration des données et traitements préliminaires

Elle a pour but :

- de conserver les données qui ont une qualité suffisante et supprimer les données douteuses,
- d'explorer le jeu de données et fixer les variables de dépendance,
- d'établir un modèle de corrélation spatiale.

Les données brutes, une fois exportées dans un format simple de type ASCII, sont corrigées en considérant les paramètres suivants :

- *la marée* : Corriger les profondeurs par rapport aux prédictions tidales du port de référence. Elles sont appliquées pour des intervalles de temps de 10 à 30 mn. Si la zone est trop loin d'un port de référence, il est nécessaire de mouiller un marégraphe ou de mettre en œuvre un GPS cinématique temps-réel.
- *la vitesse* : Filtrer les données liées à une vitesse trop faible du bateau (1 m/s au min.), aux positions erronées et aux doublons générés par faible profondeur.
- *la profondeur* : Comparer la sonde avec les valeurs des deux enregistrements précédents et des deux suivants. Si la différence est supérieure à 5 m (écart-fond), alors elle est suspectée et peut-être éliminée.

Les SIG permettent de façon interactive de sélectionner les données aberrantes et de les supprimer. L'établissement d'un variogramme permet d'améliorer l'étape d'interpolation entre les points. Il permettra de définir la meilleure distance d'interpolation entre les points. Il est basé sur l'idée fondamentale que deux observations situées l'une près de l'autre devraient, en moyenne, se ressembler davantage que deux observations éloignées. En océanographie les données ont une capacité de dispersion pratiquement illimitée et on ne peut leur attribuer de variance *a priori*. La variance sera fonction de la maille, de la densité des organismes et du nombre des prélèvements. On utilise donc une technique géostatistique de représentation graphique (diagramme variance/séparation) de la corrélation spatiale entre les données. Ceci montre comment la similarité entre les valeurs diminue, alors que la distance entre les points augmente. Un variogramme classique vaut zéro à l'origine, puis croît régulièrement avec la distance jusqu'à atteindre une certaine valeur (appelée portée) au-delà de laquelle il reste constant. Dans ce cas particulier, le variogramme est extrêmement régulier et sa relation avec la fonction de covariance est évidente : la croissance plus ou moins rapide de la courbe fournit le taux avec lequel l'information disponible à l'origine n'est plus significative. La valeur de la portée indique la valeur de la distance au-delà de laquelle deux valeurs voisines ne sont plus corrélées. Dans le cas présent (fig. 7), les mesures deviennent spatialement indépendantes au-delà de la portée. L'effet de pépite représente la variation à très courte échelle. Le variogramme est un outil descriptif puissant qui doit être utilisé sur l'ensemble de la zone et non pour montrer des variations locales. Il peut ainsi suggérer les effets :

- Du bruit sur les données : il s'agit de la distance minimum d'échantillonnage. Elle ne doit pas être trop importante sinon elle reflète une variabilité trop forte de point à point, montrant l'indépendance d'un point avec ses voisins (interpolation impossible).
- De la portée : elle fournit la distance maximale pour laquelle les corrélations spatiales peuvent être espérées. Elle représente un seuil (valeur max.). Les données peuvent être interpolées dans cet intervalle de distance. Le rayon de recherche est alors égal à la moitié de la variance du seuil.



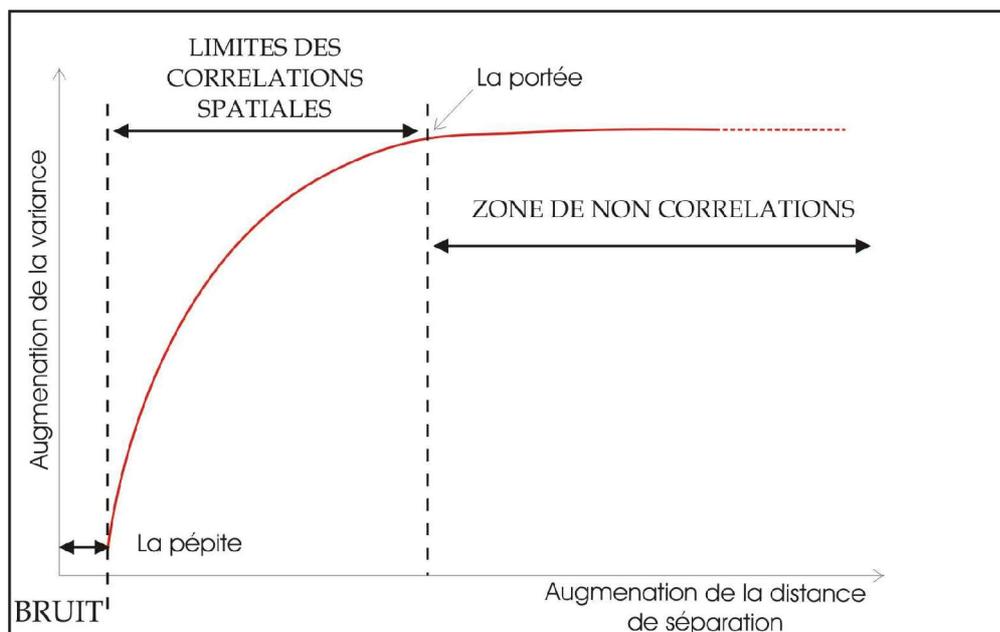


Fig. 7 : Exemple de variogramme

- **L'interpolation, du semis de points à sa conversion en surface**

Il est possible d'interpréter les points selon les profils pour obtenir des cartes. L'interpolation est un processus de conversion d'une donnée ponctuelle en une couverture surfacique dans laquelle les nouvelles valeurs seront estimées à partir de la position des données réelles. C'est une étape qui fournit une présentation graphique plus riche des résultats et un aperçu de la représentation spatiale qui peut être effectuée à partir de l'interpolation.

Pour cela, il est important d'apprécier la nature des données. Il y a plusieurs méthodes d'interpolation basées sur la distance du plus proche voisin (distance moyenne pondérée). Si les données sont nombreuses, l'interpolation sera meilleure quelle que soit la méthode. Si elles sont éparées, les méthodes ne donneront pas toutes les mêmes résultats. L'interpolation est satisfaisante lorsqu'il y a une faible variabilité le long du profil par rapport à l'espacement entre les profils. L'espacement idéal entre les profils correspond à la moitié de la distance du seuil de variance (généralement < 500 m). Le bruit, à l'intérieur de ces limites, est alors relativement faible.

Si les données peuvent être interpolées, quelle est la distance de pondération la plus satisfaisante ? Le krigeage est la méthode optimale au sens statistique du terme. On peut l'utiliser autant pour l'interpolation que l'extrapolation. Elle fournit une grille de points auxquels vont être affectés une valeur. Elle va dépendre d'un modèle initial correct. L'inverse de la distance fournit des résultats acceptables et un plus grand choix dans le paramétrage :

- Le plus proche voisin : Avantage, aucune valeur fausse, la classification sera peu affectée. Il faut néanmoins s'assurer que les points de la maille correspondent à une faible distance entre les enregistrements du SACLAF. Inconvénient, si l'interpolation dépasse une certaine distance, la visualisation est incorrecte.
- La distance inverse au carré : Avantage, les valeurs interpolées sont fidèles aux données les plus proches et l'effet moyenné entre les profils, associés avec la faible distance de pondération, est réduit. Ce choix est préférable s'il y a un doute sur la variabilité des données. Inconvénient, cette méthode peut créer des distorsions autour des points isolés (notion de "hot spot").
- La distance inverse avec un facteur entre 1 et 2 (faible distance de pondération) : Avantage, elle produit un résultat très lissé où les « hot spot » sont moyennés. Elle est à pratiquer lorsque l'espacement entre les profils est important et lorsqu'il y a lieu de penser que le fond entre ces

profils est homogène, ou avec des tendances graduelles. Inconvénient, le lissage peut supprimer des variations locales.

Contrairement à toutes les autres méthodes, le krigeage permet aussi de calculer l'erreur d'estimation. Il faut cependant ajouter que dans plusieurs cas, et spécialement dans le cas d'une grille régulière d'échantillonnage, la méthode des splines cubiques produit des résultats à peu près "équivalents" à ceux obtenus par krigeage, tout en étant plus rapide et plus simple à utiliser. Si la précision des résultats est importante, le krigeage demeure, même dans ce dernier cas, la méthode de prédilection. Dans tous les cas, l'orientation et la densité des profils sont primordiales lorsque la zone est caractérisée par une grande variabilité sédimentaire (les lignes rapprochées fournissent de bien meilleurs résultats). Il est important de produire plusieurs grilles pour évaluer les résultats du levé. L'interpolation amène à produire des images digitales sur lesquelles il est possible d'utiliser les mêmes fonctions de traitement que les images satellitaires. Une grille d'interpolation peut-être traitée comme une image digitale où chaque nœud de la grille deviendrait un centroïde du pixel.

• La classification

Il y a plusieurs façons de calibrer les données des SACLAF en fonction des informations sédimentaires et biologiques recueillies sur la zone au moment du levé :

- L'utilisation des boîtes RoxAnn est la méthode la plus simple. Chaque boîte définie par ses valeurs min. et max. de E1 et E2 est indexée d'une nature de fond. Cette méthode se révèle idéale au moment de l'exploration de la zone mais trop grossière pour fournir des cartes de distribution précise des habitats.
- Les graphes univariés et bivariés : Les traitements bivariés ont pour objet de mettre en évidence les relations éventuelles qui existent entre deux variables analysées simultanément. Les variables comme le pourcentage en silts, en carbonates etc.. peuvent être comparées avec E1 ou E2 et les autres variables acoustiques. L'analyse bivariée est efficace quand elle concerne deux variables continues. Dans ce cas, l'analyse montre une grande richesse et introduit des concepts capitaux comme la notion de moindre-carré, la notion de covariance, de corrélation, de variance expliquée etc. Un autre avantage est que ce type d'analyse convient parfaitement à l'analyse graphique.
- La classification non-supervisée : elle détecte les couples naturels dans les données. C'est le cas pour RoxAnn, mais il y a très peu de variables disponibles. Les couples peuvent apparaître dans des petits jeux de données, mais, dès que le nombre de biotopes augmente, alors le jeu de données ressemble à un nuage de points dans lequel la division des classes devient trop arbitraire. Elle est plus utilisée pour servir de guide au moment de l'échantillonnage. Pour QTC *View*, la formation de classes est déjà pratiquée dans les algorithmes du logiciel.
- La classification supervisée des images : cette méthode qui utilise la probabilité maximale est une démarche très usuelle et fournit de bons résultats. Les principales étapes sont de :
 - o Sélectionner les sites d'apprentissage pour les habitats : Ils sont issus des zones où l'on connaît visuellement les habitats. En zone subtidale, ils sont matérialisés par une zone tampon circulaire autour du point. Elle doit être suffisamment large pour rendre compte des données acoustiques mais pas trop pour correspondre aux limites de l'habitat ;
 - o Développer les signatures acoustiques pour toutes les classes d'habitats: La méthode calcule pour chaque classe d'habitat un paramètre dimensionnel "n" de probabilité, basé sur la moyenne et l'écart type de chaque variable (E1, E2, profondeur,...) sur tout le jeu de données;
 - o Réaliser une classification sur le reste de la zone : chaque pixel de l'image est caractérisé par un type d'habitat en accord avec les plus fortes valeurs de probabilités.

Procédure d'assurance qualité



Les SACLAF peuvent fournir des données de qualité variable du fait des changements de conditions de mer, des variations de l'électronique du système ou d'un portage du système sur une autre embarcation. Les effets ne sont pas toujours évidents à détecter. Les données douteuses doivent être éliminées au moment du post-traitement. La qualité des données brutes est fonction :

- de l'état de la mer (les phénomènes de cavitation sous la base provoquent des interruptions dans la transmission/réception des ondes),
- de l'état de l'électronique (vieillesse, dérive dans le temps...),
- des interférences avec les autres systèmes électroniques embarqués (sondeur, émissions radio...),
- dans la mesure du possible, la zone à prospector doit être cartographiée dans un temps réduit pour conserver les paramètres de configuration identiques.

Les données RoxAnn aberrantes proviennent soit de connexions fragiles entre le sondeur et l'UTEA, soit de l'altération du signal au niveau du transducteur. Parfois cette variabilité peut-être liée à une vitesse trop lente du bateau, notamment au moment de se positionner pour effectuer un prélèvement ou à un changement rapide de cap par exemple pendant les girations d'un profil à l'autre. Pour ces raisons il est préférable de déconnecter la calibration (phase stationnaire du bateau) de l'acquisition suivant les profils. La solution consiste à calibrer les faciès RoxAnn une fois les profils réalisés. De même, il est préférable de ne pas arrêter les enregistrements pendant ces périodes d'arrêt au risque d'oublier de remettre en route le système. Les opérations de filtrages au moment du pré-traitement élimineront les données aberrantes.

Il est souhaitable de commencer l'enregistrement sur des fonds dont les caractéristiques sont relativement bien connues. Lorsque les zones de prospection sont éloignées, des profils de connexion peuvent être programmés. Il peut s'agir tout simplement de laisser le système RoxAnn en acquisition pendant que le bateau fait route sur la zone suivante, mais il est important de conserver une vitesse de transit identique à celle choisie pour le levé. De la même manière, pour contrôler la qualité des données acoustiques du système jour après jour, des points de validation, ou des courts profils RoxAnn, doivent être choisis et faire l'objet d'une surveillance en début et fin de journée. Il s'agit de points de contrôle permettant d'appréhender d'éventuelles dérives du système.

Les levés avec les SACLAF nécessitent d'être combinés simultanément avec d'autres systèmes, soit également acoustiques, soit d'observation ponctuelle. Il n'y a pas d'approche universelle car la méthodologie d'utilisation du système dépendra des objectifs du levé, de la nature, de l'extension de la zone levée, du temps disponible, ainsi que du coût global de l'opération. Il est important que chaque étape du levé, de la préparation à la réalisation jusqu'à l'élaboration des documents, soit l'objet d'une description minutieuse, afin d'assurer la constance dans la qualité des données pendant le levé et leur répétition.

Doivent-être notifiés pendant :

- la phase d'acquisition :
 - les détails des conditions du levé, cela comprend les conditions météorologiques, l'équipement embarqué (nature et caractéristiques du sondeur, moyens d'observations, type de GPS, etc...), les changements de réglages en route, les arrêts pour problèmes, les raisons et solutions techniques adoptées,
 - la description, la position, l'heure et la profondeur de chaque événement (faciès acoustique, nature du fond, type de faune rencontrée, etc...),
 - la mise sur carte des profils et des localisations de points,
 - les détails des choix des sites de calibration.

Toutes ces informations peuvent être rassemblées dans un cahier de quart scientifique, informatisé pour faciliter l'exportation des informations une fois à terre, comme le fait le logiciel Casino+ d'Ifremer.



- la phase d'exploration des données :
 - un enregistrement des procédures d'édition de données, des paramètres d'élimination et la proportion de données rejetées,
 - les paramètres utilisés pour l'interpolation,
 - les paramètres utilisés pour créer des images numériques.
- la phase d'élaboration des produits : toutes les conventions cartographiques (sources du trait de côte, projection et datum, échelle, date du levé, les opérateurs et les techniciens en charge du traitement des données),

Des fiches descriptives doivent accompagner ces étapes avec les détails de l'équipement, les réglages, les changements durant le levé, les performances etc.. et doivent être tenues à jour, afin d'assurer tout au long de la chaîne de mise en œuvre un contrôle de la qualité des informations.

Précautions d'usage

Les SACLAF ne présentent pas de danger potentiel dans leur installation et leur manipulation, surtout lorsqu'ils sont destinés à rester sur poste fixe. Pour les modèles portables, il faudra prendre les précautions d'usages pour vérifier la bonne étanchéité des connecteurs d'alimentation et renforcer leur protection s'il y a lieu.

Données produites

Il s'agit de cartes représentant les propriétés acoustiques du fond (fig. 8) ou, pour les plus élaborées, la distribution des faciès sédimentaires et des biotopes associés. Les formats numériques obtenus après les procédures de classification peuvent être convertis en données vecteurs pour des présentations cartographiques et intégration dans les SIG.

Les attributs génériques qui peuvent être fournis sont :

- l'étendue géographique, l'ampleur et le nombre d'habitats,
- la cartographie des caractéristiques majeures du substrat incluant les habitats complexes et ceux possédant une signature acoustique propre (algues, herbiers, moules, maërl).

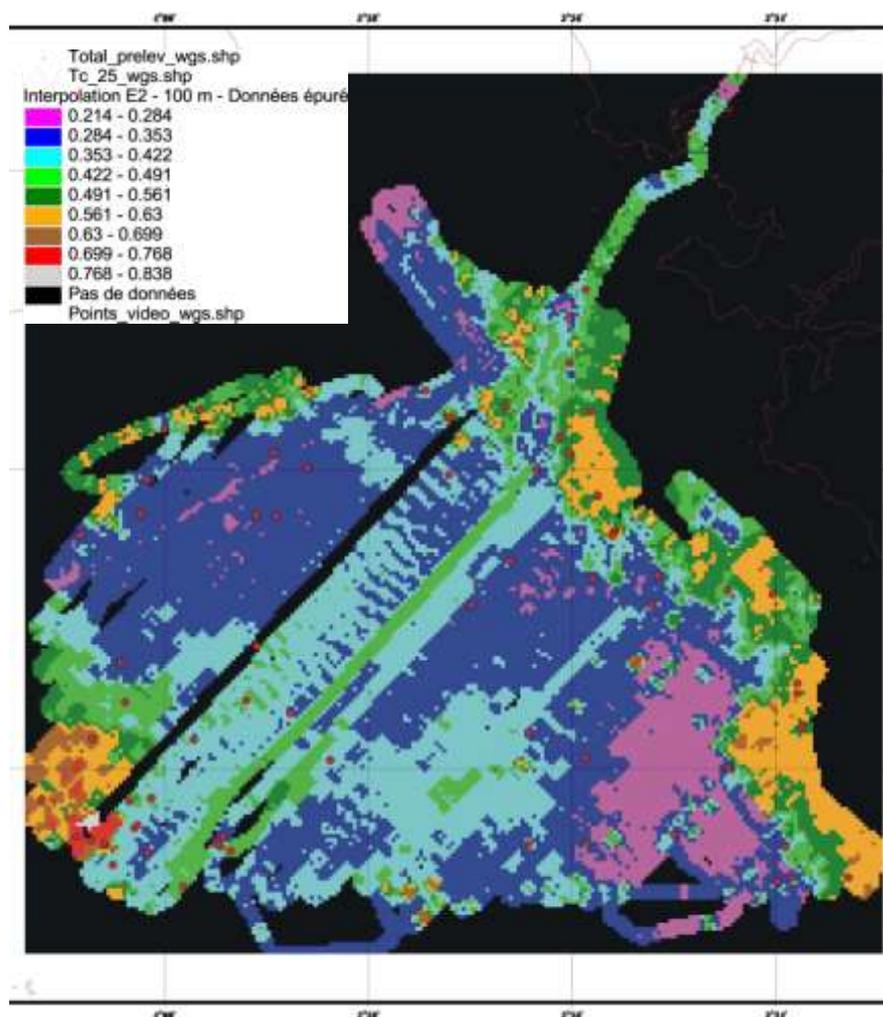


Fig. 8 : Exemple de carte de dureté (E2) sur les fonds de la baie de Concarneau (Mission Rebent1)

Références majeures

- Chevillon C. (2001). Caractérisation des types de fonds et habitats benthiques par classification hydro-acoustique dans le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie. Rapport IRD.
- Chivers R.C., Emerson N. and Burns (1990). New Acoustic Processing for Underway Surveying. The hydrographical journal, 56, 9-17.
- Chivers R.C. and Burns D. (1992). Acoustic surveying of the sea bed. Acoust. Bull., 17(1), 5-9.
- Collins M.B. & Voulgaris G. (1993). Empirical field and laboratory evaluation of a real-time acoustic seabed surveying system. Proceedings of the Institute of Acoustics, 26, p. 343-352.
- Collins,-W.; Gregory,-R.; Anderson,-J. (1996). A digital approach to seabed classification. Sea Technology, vol. 37, n° 8, pp. 83-87.
- Davies J., Foster smith R. & Sotheran I.S. (1997). Marine biological mapping for environment management using acoustic ground discrimination systems and geographic information systems. Und. Tech., 22, (4), p. 167-172.
- De Grave S., Fazakerley H., Kelly L., Guiry M.D., Ryan M. and Walshe J. (2000). A study of selected maërl beds in Irish Waters and their potential for Sustainable Extraction. Rapport final Marine Institute, 50 p.



- Ehrhold A. (2000). Méthodologie de traitement des données RoxAnn – Validation sur quelques exemples au large de la plateforme sud-armoricaine. Rapport Epshom, n°479, 22 p.
- Greenstreet S.P.R., Tuck I.D., Grewar G.N., Armstrong E., Reid D.G. & Wright P.J. (1997). An assessment of the acoustic survey technique, RoxAnn, as a means of mapping seabed habitat. ICES Journal of Marine Science, vol. 54, n° 5, pp. 939-959.
- Hamilton L.J. (2001). Acoustic seabed classification systems. Rapport DSTO, TN, 0401, 75 p.
- Kaiser M.J., Armstrong P.J., Dare P.J. & Flatt R.P. (1998). Benthic communities associated with a heavily fished scallop ground in the English Channel. J. Mar. Biol. Assoc. U.K., vol. 78, n° 4, p. 1045-1059.
- Magorrian B.H., Service M. & Clarke W. (1995). An acoustic bottom classification survey of Strangford Lough, Northern Ireland. J. Mar. Biol. Assoc., U.K., vol. 75, n° 4, pp. 987-992.
- Maravelias C.D., Reid D.G. & Swartzman G. (2000). Seabed substrate, water depth and zooplankton as determinants of the prespawning spatial aggregation of North Atlantic herring. Mar. Ecol. Prog. Ser., vol. 195, pp. 249-259.
- Murphy L., Leary T. & Williamson A. (1995). Standardizing seabed classification techniques. Sea Technology, 36, pp. 15-19.
- Pinn E.H., Robertson M.R., Shand C.W. & Armstrong F. (1998). Broad-scale benthic community analysis in the Greater Minch Area (Scottish west coast) using remote and nondestructive techniques. Int. J. Remote Sensing, vol. 19, n° 16, pp. 3039-3054.
- Pinn E.H. & Robertson M.R. (1998). The effect of bioturbation on RoxAnn registered, a remote acoustic seabed discrimination system. J. Mar. Biol. Assoc. UK., vol. 78, n° 3, pp. 707-715.
- Provencher L., Giguere M. & Gagnon P. (1997). Seabed characteristics between the 10 and 50 meter isobaths around the Magdalen Islands measured by hydro-acoustics and sediment sampling. Evaluation of acoustic RoxAnn USP system. Ministère des Pêches et des Océans, Mont-Joli, Canada, Dir. Sci., 49 pp.
- Rukavina N.A. & Caddell S. (1997). Applications of an acoustic sea-bed classification system to freshwater environmental research and remediation in Canada. Proceedings of Fourth International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, Orlando, Floride, mars 1997, vol. 1, pp. 317-329.
- Service M. (1998). Monitoring benthic habitats in a Marine Nature Reserve (1998). Journal of Shellfish-Research, 17, (5), pp. 1487-1489.
- Sotheran I.S., Foster-Smith R.L. & Davies J. (1995). Mapping of marine benthic habitats using image processing techniques within a raster-based geographic information system. Proc. 25. Ann. Symp. of ECSA. Part 3, Dublin (Ireland), 11-16 Sep 1995, Science for Management in coastal and estuarine waters, eds. 1997, vol. 44, Suppl. A, pp. 25-31.
- Williamson A. (1998). Use of acoustics in remote sensing of the seabed. Hydro. Int., vol. 2, n° 2, pp. 51-53.

Liens internet :

Marine Institut (Ireland) : spatial extent of the maërl with RoxAnn
www.marine.ie/MRM/SECTION2/sect2main.html

Institut de technologie (Ireland, Sligo) : mapping the distribution of kelp biotopes.
www.itsligo.ie/biomar/about/publins.htm

English nature (UK) : cartographie des moules bleues sur la côte nord de Norfolk
<http://cwss.www.de/news/publications/Wsnl/Wsnl99-1/wsnl99-1.html>

University of Minnesota Duluth, the Natural Resources Research Institute : 8 catégories sédimentaires
<http://oden.nrri.umn.edu/trout/default.htm>

Environmental Protection Agency EPA :
<http://www.epa.gov/glnpo/lakeont/2001update/sediment.html>

Defense Science and Technology Organisation (DSTO) : nature des fonds
<http://www.dsto.defence.gov.au/corporate/conferences/swsurvey/1999/>

Coastal & Marine Resources Centre (CMRC) University College Cork (UCC) : moule + maërl + pétoncle
<http://www.ucc.ie/research/crc/Pages/projects/bivalvemollusc.htm>

Ministère des pêches (Canada) : études de l'impact des engins de pêche sur le fond
http://www.mar.dfompo.gc.ca/science/review/1996/Gordon/Gordon_f.html