

BOUEE SIMEO - STATION DE SURVEILLANCE DE L'ECOSYSTEME MARIN

SIMEO BUOY

**Patrice¹ WOERTHER¹, Erwan² ROUSSEL², Yannick³ TROVEL³,
Dominique⁴ PONTON⁴.**

¹ IFREMER - ZI Pointe du Diable, 29280 PLOUZANE – patrice.woerther@ifremer.fr

² Biotope – 22, Bd maréchal Foch, BP58, 34140 MEZE – eroussel@biotope.fr

³ NKE - nke Instrumentation – rue Gutenberg, Z.I. Kerandré, 56700 HENNEBONT – ytrovel@nke.fr

⁴ IRD - UR227, laboratoire d'excellence « CORAIL », Observatoire Océanologique de Banyuls, BP44, 66 650 BANYULS-SUR-MER – dominique.ponton@ird.fr

L'objectif du projet SIMEO est de développer et mettre en oeuvre une gamme de bouées instrumentées autonomes équipées de capteurs permettant la collecte de jeux de données écologiques sur les oiseaux marins, les chauves-souris, les poissons ou les cétacés.

Le projet SIMEO est le fruit d'un partenariat entre des institutions de référence en matière de biodiversité, de technologie et de recherche sur les milieux marins. Ainsi deux PME, BIOTOPE et NKE travaillent en collaboration avec deux établissements de recherche, l'IRD et l'IFREMER.

Des applications métiers sont développées afin d'obtenir des données pertinentes pour contribuer à l'aide à la décision pour les projets d'études d'impact, la surveillance et le monitoring des Aires Marines Protégées ou les études de sites dans le cadre des Energies Marines Renouvelables.

Sur la bouée sont intégrés différents instruments de mesure (radar, sondeurs acoustiques, hydrophones, caméras vidéo aériennes et sous-marines) dont les informations sont associées aux paramètres météo et aux caractéristiques des masses d'eaux (courants, température, salinité, oxygène, turbidité). La bouée, conçue pour être facile à déployer, comporte un système d'ancrage adapté à la diversité des sites d'utilisation. Elle est autonome en énergie tout en étant fiable et robuste avec des coûts de fabrication et d'exploitation maîtrisés. Les informations recueillies par les différents capteurs sont interprétées par des logiciels spécifiques selon une approche écosystémique pour finalement être synthétisées sous forme d'un faisceau d'indicateurs.

Mots-clefs : Bouée, radar, vertébrés marins, Energies Marines Renouvelables, AMP

The aim of the SIMEO project is to develop and to operate a range of autonomous instrumented buoys equipped with several sensors allowing a collection of ecological data on sea birds, bats, fishes and cetaceans.

The SIMEO project is build around a partnership between reference institutions regarding biodiversity, technology and research on marine area. So two Small and Medium-sized Enterprise, BIOTOPE and NKE work in association with two French research institutes, the IRD and the IFREMER.

Business applications are developed to obtain relevant data to contribute to the management and decision for the projects of environmental studies, the surveillance and the monitoring of Protected Marine Areas or site studies within the framework of the Renewable Marines Energies.

Various instruments are integrated on the buoy such as radar, active and passive acoustic devices and video cameras associated to measurements of meteorological parameters and characteristics of waters quality (currents, temperature, salinity, oxygen, turbidity). The buoy contains a system of anchoring adapted to the diversity of sites and is designed to be easy to deploy. She is autonomous in energy while being reliable and strong with costs of manufacturing and

operation mastered. The information taken in by the various sensors is interpreted by specific software according to an ecosystemic approach to be finally synthesized in the form of indicators.

Key-words : buoy, radar, birds, Renewable Marines Energies, MPA

I BESOIN

Les milieux marins font actuellement l'objet de nombreux enjeux liés au développement des Energies Marines Renouvelables (EMR), à l'aménagement des littoraux, et à la mise en protection de zones de forte biodiversité patrimoniale à travers la mise en place d'Aires Marines Protégées (AMP).

Dans ce contexte, la prise en compte de la bonne santé des écosystèmes est une priorité et fait l'objet d'un encadrement législatif important (DCE, DCSMM, Natura 2000,...). Cette prise en compte se traduit par un double besoin : d'une part la surveillance du bon état écologique des écosystèmes, qui fait l'objet des réglementations précédemment citées, et d'autre part la suppression, la réduction et la compensation des impacts des aménagements ayant un impact potentiel sur ces mêmes écosystèmes. Ce second besoin est régi par la Directive sur l'Evaluation des Etudes d'Impact, qui exige qu'une étude d'impact soit entreprise pour étayer une demande d'accord de développement pour les projets dont la liste est fournie dans les annexes I et II de la Directive. Dans le cas des développements de parcs éoliens, inclus dans l'annexe II, les études d'impact sont requises lorsque les critères de l'état-membre dans lequel le parc est prévu le précisent. Dans la pratique, il est très vraisemblable que les législations nationales et internationales exigent une étude d'impact pour tous les développements de parcs éoliens.

La limitation des impacts sur les écosystèmes et leur surveillance passent par la réalisation d'études. Celles-ci fournissent d'abord des données sur les principales caractéristiques des écosystèmes visant à établir un diagnostic écologique le plus précis possible de façon à supprimer, réduire ou compenser adéquatement les changements affectant les ressources naturelles. Jusqu'à présent, ces études étaient traditionnellement réalisées par des observateurs humains intervenant généralement très ponctuellement dans le temps.

Au regard de l'importance des enjeux évoqués ci-dessus, l'acquisition de données plus robustes sur le plan scientifique, sur des périodes de temps plus longues et de manière automatisée devient un enjeu important. Or, si les techniques de mesures automatisées sont classiquement employées pour la collecte des paramètres physiques et chimiques de l'air et de l'eau, des stations multi-instrumentales pour obtenir des données biologiques font actuellement défaut, en particulier en ce qui concerne les vertébrés, en dépit de l'intérêt général exprimé dans le cadre du maintien de la biodiversité. SIMEO répond à cet enjeu et s'inscrit dans un processus de concrétisation des métiers de l'expertise et de l'ingénierie écologique.

Le contexte réglementaire, économique et sociétal actuel d'une part, les enjeux de développement des Energies Marines Renouvelables et de conservation des Aires Marines Protégées d'autre part, créent une demande émergente tout à fait spécifique à laquelle SIMEO répond.

II MARCHÉ

En première approche, SIMEO est positionné sur un double marché : les éoliennes offshores et les AMP. Dans le futur, les applications pourront être encore diversifiées (autres types d'EMR, observatoires côtiers, aménagements littoraux,...). A titre d'exemple, l'EWEA (European Wind Energy Association) annonce une progression de 28% par an du marché des éoliennes offshores d'ici à 2020, cette source d'énergie étant la première EMR à être mise en exploitation en raison de sa maturité technologique.

La feuille de route européenne pour les sources d'énergie renouvelables fixe comme objectif que 20 % de la quantité totale d'énergie consommée dans l'Union européenne d'ici 2020 soit de sources d'énergie renouvelable. Dans sa communication du 13 novembre 2008, la Commission européenne positionne l'éolien maritime parmi les priorités dans la politique énergétique européenne. De son côté, l'EWEA indique que la production d'énergie en Europe par l'éolien maritime atteindra 40 GW en 2020, et jusqu'à 150 GW en 2030. En France, pour accélérer le marché de l'éolien offshore, les investissements annoncés en septembre 2010 s'élèvent à 10 milliards d'euros pour le développement et l'installation d'une capacité de production de 3 GW d'ici à 2015. A l'horizon 2020 les objectifs se portent à 6 GW, avec un investissement total envisagé de 15 à 20 milliards d'euros.

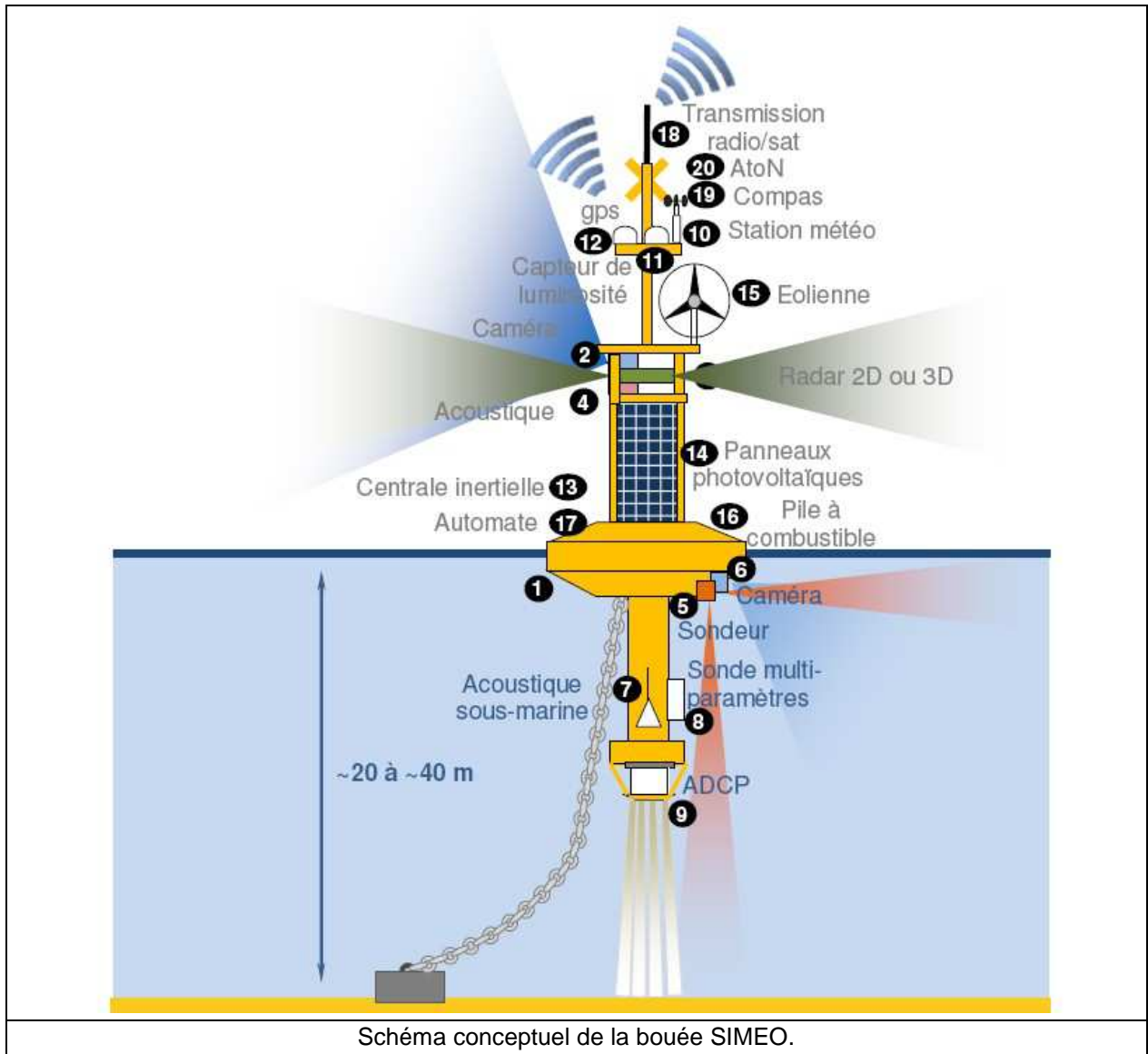
Compte tenu des directives européennes Natura 2000 Mer et du Grenelle de la Mer, la surface couverte par les AMP sera en pleine croissance d'ici à 2020. Actuellement, les AMP en France s'étendent sur moins de

10% des mers territoriales, alors que l'État s'est fixé l'objectif de placer 20% de sa Zone Economique Exclusive en AMP d'ici à 2020. En parallèle, le Grenelle de la Mer a identifié en 2009 les AMP comme un de ses axes prioritaires, notamment sur le plan de la gestion halieutique.

III BOUEE SIMEO (SYSTEME DE MESURE)

La bouée SIMEO intègre sur un même flotteur plusieurs instruments destinés à mesurer :

- Le passage d'oiseaux et de chauves-souris en vol avec un radar (2) pour localiser, suivre la trajectoire et reconnaître de grandes espèces. Une caméra permet d'acquérir des vidéos aériennes (3) pour l'identification des espèces.
- La présence et le déplacement de chauves-souris par acoustique aérienne (4) pour identifier, localiser et quantifier les espèces.
- La présence de poissons par acoustique active avec des sondeurs (5) pour intégrer la densité acoustique des cibles par mesure de rétrodiffusion de volume et leur distance par rapport à l'émetteur.
- L'identification de poissons avec une caméra vidéo sous-marine (6) pour compléter les informations fournies par l'acoustique active et l'acoustique passive.
- La présence de mammifères marins par acoustique sous-marine passive avec des hydrophones (7) pour identifier et localiser les espèces.
- La température/salinité/turbidité/fluorescence de Chlorophylle *a* de l'eau avec une sonde multi-paramètres Nke SMATCH avec chloration localisée (8).
- La vitesse et de direction des courants avec un ADCP (9) sur différentes tranches de profondeurs sous la bouée.
- Des paramètres météo (10), tels que la force et la direction du vent, la pression atmosphérique, la température de l'air, l'humidité relative et la précipitation (pluie) pour étudier les relations avec les autres paramètres.
- La luminosité (11) avec un PAR (Photosynthetic Available Radiation).
- La position géographique et d'heure UTC avec un GPS (12) qui permet à l'automate de surveiller la position de la bouée et de synchroniser périodiquement l'heure de l'automate de gestion avec l'heure UTC.
- Le comportement de la bouée avec une centrale inertielle (13).
- L'orientation du flotteur par rapport au nord magnétique avec un compas (19) afin de positionner certaines mesures dans l'espace.



L'originalité de cette bouée est d'intégrer sur un même support l'ensemble de ces instruments. Elle est destinée à être implantée sur des sites exposés jusqu'à 10 kilomètres des côtes présentant des fonds allant jusqu'à 40 mètres de profondeur. Les conditions d'environnement sont prises en compte pour l'étude de l'ensemble du système, en particulier la taille et la forme du flotteur, le mouillage, la production d'énergie pour alimenter l'ensemble des capteurs ou les moyens de déploiement et de maintenance.

Certains capteurs n'ont jamais été implantés sur une bouée mais uniquement sur des stations marines fixes (sondeur, vidéo) ou des stations terrestres fixes (acoustique, radar). Ces capteurs sont gourmands en énergie et ne tolèrent que de faibles mouvements de plate-forme ou de faibles vitesses angulaires. En dessous des valeurs limites, les mesures peuvent être corrigées avec les données de la centrale d'attitude. La forme du flotteur a été étudiée et définie pour obtenir une raideur et une stabilité suffisantes et permettre aux capteurs d'effectuer des mesures de bonne qualité jusqu'à des conditions de mer force 4. Le système de production d'énergie permet d'effectuer au moins 2 heures de mesures par jour pour l'ensemble des capteurs quelle que soit la saison.

Un système de production d'énergie hybride combinant différentes sources permet un fonctionnement cyclique de l'ensemble des capteurs. Une optimisation est effectuée pour diminuer la consommation d'énergie des différents moyens de mesure en travaillant sur le capteur ou son électronique de commande. La principale source d'énergie est fournie par un ensemble de panneaux solaires photovoltaïques (14). Cette source d'énergie renouvelable permet une assez bonne prédiction moyenne et mensuelle de l'énergie produite pour un site donné. Par contre, la surface de panneaux solaires qu'il

est possible d'installer sur la bouée est limitée et reste insuffisante pour alimenter l'ensemble des capteurs. Une éolienne (15) de type marine est installée comme source d'énergie renouvelable secondaire. Ces deux sources d'énergies sont complémentaires, les panneaux solaires produisant plus d'énergie en été tandis que pour les éoliennes c'est en période hivernale. Afin de pallier les creux de production d'énergie renouvelable, une pile à combustible (16) fonctionnant avec un carburant est utilisée comme source d'énergie complémentaire. Un parc de batterie permet de stocker l'énergie fournie par les différentes sources de production de la bouée. Il est dimensionné en fonction des possibilités de recharge aux périodes les plus défavorables (ensoleillement, vent) et des contraintes de dimensionnement minimum imposées par chaque source d'énergie.

Un automate articulé autour d'un processeur multitâches gère l'ensemble des fonctionnalités de la bouée. Son logiciel surveille l'état de bon fonctionnement des différents sous-ensembles électroniques de la bouée, que se soit l'énergie, les différents capteurs, les systèmes de communication ou les dispositifs de configuration. Il contrôle les cycles de mesures de chaque instrument faisant fonctionner de manière séquentielle certains capteurs ou en les arrêtant si les conditions météo ne permettent pas d'effectuer les mesures (caméras sur détection de luminosité, radar sur détection de pluviométrie,...). Il est capable de modifier les cycles d'acquisition pour s'adapter aux priorités de mesures et/ou aux contraintes énergétiques. Il effectue une surveillance et un contrôle de la bouée contre l'effraction, le vol, le déradage (rupture de mouillage) et la proximité de navires via l'AIS (risque de collision).

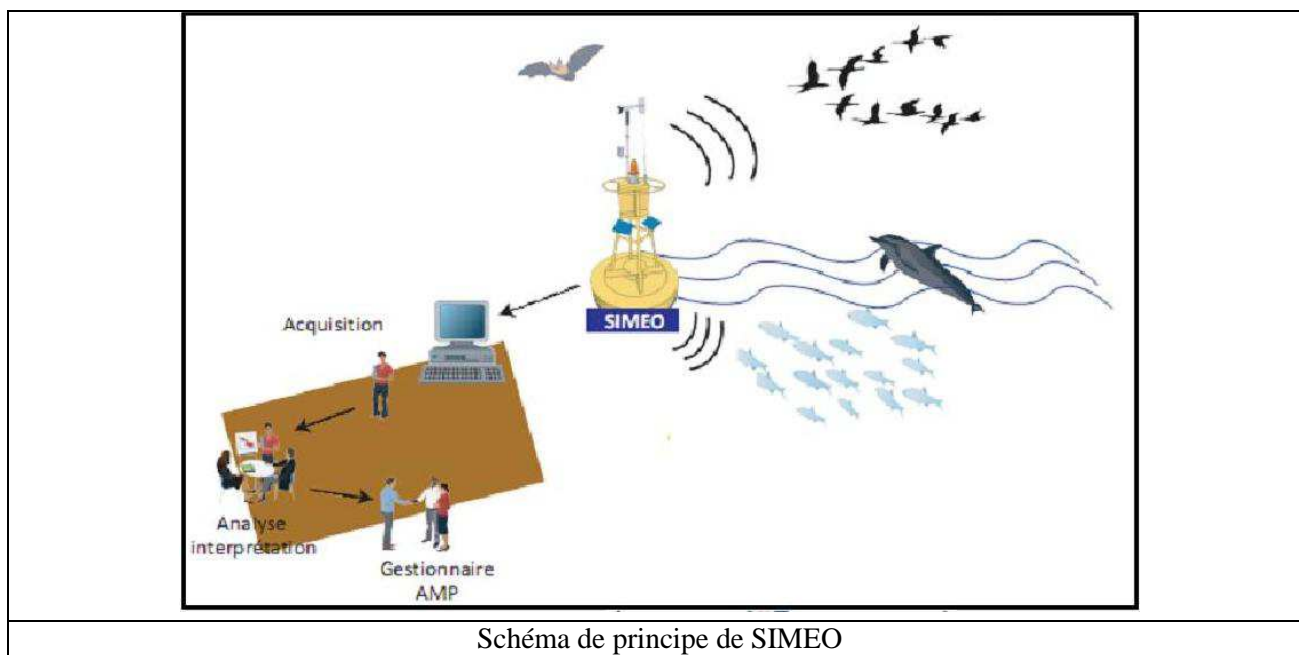
Les différentes données brutes ne peuvent pas être transmises à terre en temps réel, leur volume étant trop important. Elles sont donc stockées sur la bouée sur des supports physiques statiques. La bouée est équipée d'un système de communication (18), permettant de transmettre périodiquement son statut de fonctionnement, sa position et une synthèse des mesures ou d'indicateurs issus de ses différents capteurs environnementaux. La récurrence de transmission est paramétrable de l'ordre de 1 à quelques transmissions par jour. Le moyen de communication est choisi en fonction des différents sites d'implantation : téléphonie par GPRS, satellitaire par IRIDIUM ou UHF. L'ensemble des données transmises par l'automate de gestion via le modem est récupéré à terre sous forme de fichiers de données par emails (pour le GPRS et l'Iridium SBD), par une station côtière (UHF) ou sur un serveur (Iridium RUDICS).

La bouée est équipée d'un système de reset distant, permettant au besoin de redémarrer l'automate central. Ce système de reset distant est commandé via un modem GPRS ou satellitaire. Tous les paramètres peuvent être modifiés à distance.

Un système de communication de proximité permet de communiquer avec l'automate de gestion lors des opérations de maintenance sur le flotteur. Cette interface de gestion fonctionne via un lien filaire ou via une connexion sans-fil de faible portée radio.

La bouée supporte l'ensemble des équipements de manière à ce qu'ils restent aisément accessibles pour les opérations de maintenance. Elle est facilement accostable à partir d'une embarcation légère afin que deux personnes puissent se rendre à bord. La maintenance à bord est possible jusqu'à une hauteur significative de vague $H_s = 0,5$. Les opérations réalisées sont simples et limitées à du remplacement d'éléments de faibles masses. Ces opérations sont effectuées tous les trois mois. Les opérations de maintenance plus lourdes sont effectuées au port. Le déploiement d'une bouée reste toujours une opération complexe et onéreuse. Afin de ne pas avoir besoin de recourir à des moyens nautiques spécifiques et onéreux, la bouée est remorquée sur site. Cette opération peut être effectuée par tout type de navire y compris les navires de pêche. Le mouillage est simple, composé d'un corps mort et d'une ligne de mouillage. Elle peut également être déplacée dans un même champ éolien ou au sein d'une AMP ou ramenée à quai pour des opérations de maintenance.

La bouée peut être équipée d'un système AIS si cela est demandé lors de la demande d'autorisation d'occupation temporaire (AOT) du domaine public.



IV OUTILS METHODOLOGIQUES DEVELOPPES

L'intégration des mesures du point de vue écologique permet de positionner SIMEO aussi bien dans le domaine de la surveillance des populations et de leur milieu que dans celui des études d'impact. Dans cette optique, la collecte simultanée des données du milieu et de l'activité des animaux permettra de tenir compte des effets environnementaux qui sont susceptibles de masquer les variations dues au seul impact de l'aménagement. En outre, l'obtention de données provenant simultanément de plusieurs instruments permettra de répondre aux questions posées lors d'études d'impacts, la synthèse d'un tel ensemble de données sous forme d'un faisceau d'indicateurs sera très appréciée des gestionnaires d'AMP. Ce faisceau d'indicateurs leur permettra d'appréhender le suivi de leur AMP de manière simplifiée, d'autant plus que les données collectées seront prévues pour pouvoir être complémentaires d'un suivi des usages sur la zone (pêches, plongée,...). Enfin, l'acquisition automatique à haute fréquence des mesures révélera les éventuelles variations journalières et saisonnières d'activité, informations qui sont encore inconnues pour la plupart des taxons.

D'un point de vue scientifique, les trois principales innovations de SIMEO sont : (1) l'acquisition de données automatisées sur la faune aérienne marine et leur intégration avec les données de faune sous-marine ; (2) la récolte de longues séries chronologiques sur la faune; (3) l'analyse des données de position des observations permettant de qualifier l'utilisation du site par les animaux en termes d'habitat (zones de nourrissage, de repos, de passage,...). Dans le cadre de SIMEO, l'objectif principal du traitement de l'information consiste donc à utiliser de façon optimale les données recueillies simultanément par les différents types de capteurs, afin de construire un faisceau d'indicateurs qui permette le suivi des populations de vertébrés et serve d'outil d'aide à la décision. Trois axes de recherche sont actuellement développés :

- Le développement d'outils méthodologiques *ad hoc* destinés à extraire le maximum d'informations de chaque capteur et à optimiser le dépouillement des données. Ainsi, la complémentarité entre les informations provenant d'instruments pour lesquels la détermination spécifique est disponible et ceux pour lesquels elle ne l'est pas sera tout particulièrement recherchée.
- Le développement de méthodes d'analyses et d'outils logiciels visant à assurer un dépouillement fiable et rapide ainsi qu'une interprétation pratique et transparente des données. Des logiciels sont ainsi en cours de développement pour traiter certaines images de manière automatisée. Une validation par des observateurs expérimentés sera dans tous les cas conduite pour garantir la qualité de l'automatisation.
- La garantie que les données obtenues sont pertinentes par rapport aux questions de gestion. Un effort méthodologique d'analyse est tout particulièrement consenti pour pallier aux difficultés d'interprétation que peuvent entraîner les différences entre les données récoltées par des instruments automatiques et les données

classiques d'abondance obtenues par des observateurs humains. Ce travail peut être réalisé par l'analyse des capacités de détection des capteurs (e.g. Buckland *et al.*, 2004 ; MacKenzie *et al.*, 2005). Ces analyses permettent également de quantifier précisément les échelles spatiales de détection de chaque instrument afin d'homogénéiser la représentativité spatiale des résultats pour l'ensemble de la station.

Une première étape consiste à définir les indicateurs en fonction des questions de gestion - exploitation vs. conservation - (Brehmer *et al.*, 2009), puis de choisir les instruments les plus pertinents et la stratégie d'échantillonnage la plus adéquate pour développer ces indicateurs. Afin d'être applicable dans le cadre du projet SIMEO, cette approche doit prendre en considération les contraintes technologiques (notamment en termes d'alimentation énergétique et de transmission de données), ainsi que les contraintes de coût. Il faut donc obtenir le meilleur compromis entre les différents types d'informations obtenues et les contraintes d'ordre technologiques et commerciales, le tout en garantissant la pertinence du faisceau d'indicateurs en tant qu'outil d'aide à la décision dans le cadre du développement des EMR et des AMP.

La deuxième étape consiste à intégrer les données biologiques, les paramètres environnementaux et éventuellement les données sur les usages obtenues par ailleurs afin de compléter le faisceau d'indicateurs délivrés par la plate-forme d'observation SIMEO. L'éventail d'informations qui seront obtenues, et qui n'ont jamais été utilisées dans un contexte de surveillance, nécessite l'intégration de nombreuses données avant d'en arriver à l'élaboration d'indicateurs pertinents. Le développement de ces indicateurs se base sur les travaux déjà réalisés dans le cadre des projets Liteau II – AMP, Liteau III – PAMPA et ANR-AMPHORE. Dans le cadre de ces projets, les indicateurs développés, testés et validés, portaient principalement sur les peuplements d'invertébrés et de poissons marins, notamment dans le cadre d'une approche écosystémique des pêches. L'expérience acquise sur ces groupes faunistiques dans des milieux très différents permettra de développer rapidement et efficacement des indicateurs utilisant les informations concernant les oiseaux et chauve-souris recueillies par les capteurs aériens de la bouée SIMEO. Suivant la demande des utilisateurs finaux, il est ainsi prévu de pouvoir fournir un faisceau d'indicateurs pour chaque groupe faunistique ou un faisceau d'indicateurs plus synthétiques pour l'ensemble des groupes observés.

L'originalité du projet SIMEO par rapport aux programmes de recherche cités ci-dessus réside d'une part dans l'analyse d'observations sur de longues durées, et d'autre part dans la proposition d'indicateurs basés sur ces séries chronologiques en intégrant donc la variabilité temporelle. En effet, les projets précédents ont plus abordé les questions de variabilité spatiale (par ex : comparaison de valeurs dans et hors réserve). En outre, l'aspect comportemental des organismes sera un élément novateur apporté par SIMEO que ce soit pour les vertébrés marins ou aériens.

La « boîte à outils » finale comportera différents programmes informatiques permettant le calcul, la représentation graphique et l'analyse de ces différents indicateurs. Une interface simple et conviviale sera développée afin que la complexité des calculs sous-jacents soit entièrement transparente pour l'utilisateur final tout en lui offrant accès à toutes les potentialités offertes par les nombreuses informations recueillies. L'utilisateur pourra ainsi obtenir le tableau de bord d'indicateurs multithématiques opérationnels adaptés à la complexité du milieu étudié et aux contraintes auxquels il est confronté (étude d'impact ou gestion d'AMP). En se basant sur l'expérience acquise en ce domaine durant les programmes PAMPA et AMPHORE, il sera pris soin de restituer les informations sous une forme opérationnelle facile à interpréter.

V CONCLUSIONS

Le projet SIMEO répond à un réel besoin sur la surveillance et les études de suivi monitoring des populations de vertébrés marins. Ce besoin a été identifié tant d'un point de vue aménagement que d'un point de vue conservation. SIMEO aboutira à une gamme de produits et de services permettant d'estimer l'état écologique des populations d'oiseaux, de chauves-souris, de poissons et de cétacés sur un site d'étude, en collectant simultanément des données sur le milieu. Le développement et la conception de stations marines multi-instrumentées implique de nombreuses innovations tant technologiques que scientifiques. La réalisation de ce projet est rendue possible grâce à la complémentarité des compétences issues d'un partenariat composé d'entreprises privées et d'organismes de recherche publics.

VI REMERCIEMENTS

Le projet SIMEO bénéficie d'un financement FUI (Fond Unique Interministériel) via la Région Languedoc-Roussillon et la Région Bretagne. Le projet a été co-labellisé par le Pôle Mer PACA et le Pôle Mer Bretagne.

VII REFERENCES

Brehmer P., Sancho G., Josse E., Taquet M., Georgakarakos S., Itano D., Moreno G., Palud P., Trygonis V., Aumeeruddy R., Girard C., Peignon C., Dalen J., Dagorn L. (2009). Monitoring fish communities at drifting FADs: an autonomous system for data collection in an ecosystems approach. Copenhagen : ICES, (1), 27 p.

Buckland ST, Anderson DR, Burnham KP, Laake JL, Borchers DL & Thomas L, (2004). Advanced Distance Sampling. Buckland ST, Anderson DR, Burnham KP, Laake JL, Borchers DL, Thomas L, editors Oxford: Oxford University Press.

MacKenzie, D.I., Nichols, J.D., Royle, J.A., Pollock, K.H., Bailey, L.L. & Hines, J.E. (2005). Occupancy Estimation and Modeling: Inferring Patterns and Dynamics of Species Occurrence. Elsevier, San Diego, CA.