

# FICHE PROTOCOLE Expertises digitales haute altitude par avion

AO4 Normandie  
19 octobre 2021

Parc éolien en mer au large de  
la Normandie – Campagnes  
d'expertises de l'avifaune,  
des mammifères marins et de la  
méga-faune marine



# Méthodologie des expertises digitales par avion

## Justification de la méthode et points forts des suivis aériens digitaux vidéos

Cette technique est validée et utilisée depuis années dans le cadre des états initiaux ou des suivis de parcs en mer mais aussi dans le cadre d'acquisition de connaissance (Royaume-Uni, Allemagne, Danemark, USA...). L'AFB a déjà fait mener des survols avec cette technique en Atlantique, sur la ZPS Ile d'Yeu (Biotope & HiDef, 2016 et 2017). Des études utilisant cette technologie sont par ailleurs en cours dans le cadre de l'état de référence du parc éolien en mer de Saint-Brieuc, pour le compte d'Ailes marines.

Les techniques de suivis aériens digitaux ont considérablement évolué en comparaison des premiers survols menés (Mellor and Maher, 2008) et leur **efficacité et performance ont été clairement démontrées dans de nombreuses publications**, dont Buckland et al. (2012), Thaxter et al. (2015), Weiss et al. (2016), Mendel et al. (2018), Webb and Nehls (2019) ou encore Żydelis et al. (2019).

Les **suivis aériens digitaux ont dorénavant complètement remplacé les méthodes de suivis aériens visuels** décrites par Camphuysen et al. (2004) **en tant que standards des suivis aériens pour les parcs éoliens en mer au Royaume-Uni et en Allemagne**. Les suivis aériens digitaux ont par ailleurs assez largement remplacé les suivis visuels par bateau des oiseaux et de la mégafaune marine pour les nouveaux projets éoliens en mer, ou sont mis en œuvre de façon complémentaire à ceux-ci.

**Depuis 2015, les suivis aériens digitaux sont obligatoires** pour les suivis aériens des parcs éoliens en mer **en Allemagne**. Par ailleurs, l'Agence fédérale de la mer et de l'eau ('BSH') a récemment commandé la mise en œuvre de suivis aériens digitaux pour lesquels seuls les suivis aériens digitaux vidéos (technique proposée dans le cadre de la présente réponse) ont été jugés acceptables dans les réponses à l'appel d'offres.

Dans des études comparatives menées récemment en Allemagne entre trois fournisseurs de solutions de suivis aériens digitaux, **le système digital vidéo HiDef, exploité par BioConsult SH, a été considéré comme le plus fiable et utilisé comme standard de comparaison** pour les autres techniques (Mendel et al. 2018).

## Moyens aériens envisagés

Les prestataires prévus pour les expertises digitales haute altitude sont BioConsult SH et HiDef aerial surveying. Ils mettront à disposition des avions disposant de 2 moteurs pour accroître la sécurité des opérations de survol en mer et sont équipés du dispositif caméras en partie inférieure du fuselage pour faciliter les survols. Des réservoirs grande capacité adaptés à la longueur des transects parcourus équipent ces avions.

## Fréquence des inventaires, veille météo et garantie de réalisation des sorties

La préparation des survols implique une veille météo quotidienne, menée par BioConsult SH / HiDef ainsi que ses opérateurs aériens, sur la base des données météorologiques les plus fiables. Un échange téléphonique est mis en œuvre avec le bureau météorologique britannique afin de s'assurer de la meilleure prise en compte d'éventuelles perturbations météorologiques.

Une procédure de vérification régulière du matériel d'enregistrement, caméras, équipement informatique et de l'avion est scrupuleusement respectée par HiDef et les prestataires en charge des moyens aériens, selon des procédures qualité établies.

## Principe des expertises

L'inventaire sera réalisé par une technique de vidéo numérique haute définition à 4 caméras installées dans un avion volant à **environ 500 m d'altitude**. A cette altitude, seules les caméras digitales sont capables d'effectuer un tel suivi (impossible à l'œil nu). Cette altitude de vol n'engendre **pas de perturbation des oiseaux** (conforme aux recommandations BTO - Thaxter *et al.*, 2015).

De part et d'autre de l'axe du transect, quatre bandes d'environ 125 m de largeur chacune seront suivies avec un espacement de 20 m entre chaque bande (schéma ci-dessous). Ce sont ainsi 500 m de largeur qui sont suivis (250 m de chaque côté du transect).

Caractéristiques techniques :

- 4 caméras vidéo ultra haute résolution GEN II 2.5 ;
- Précision de 2 cm à hauteur de l'eau ;
- Standard : vol à 500 m ;
- Largeur de suivi totale de 500 m (4 bandes de 125 m) ;
- Vitesse de vol importante (env. 220 km/h).

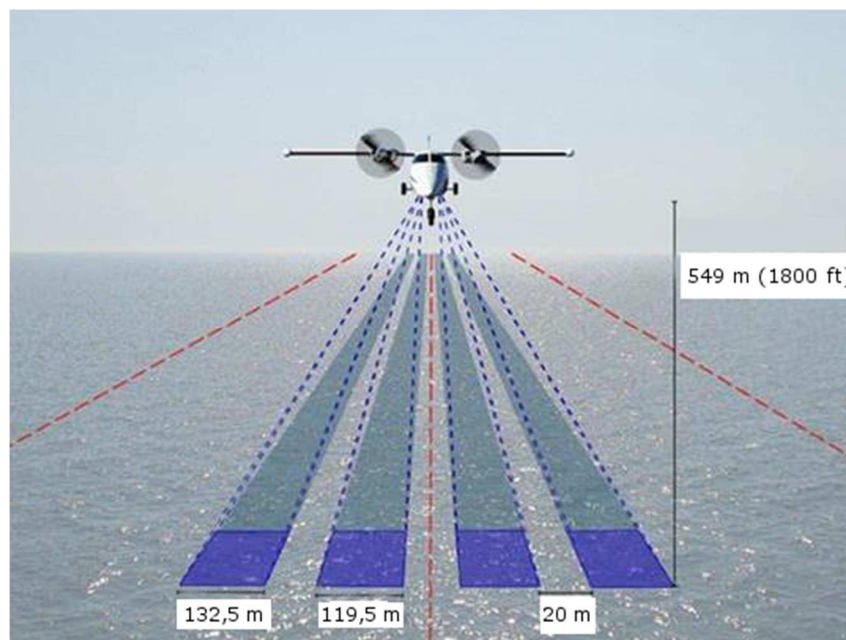


Figure 1. Représentation schématique des distances et aires couvertes (c) BioConsult SH

La position de l'avion est enregistrée en temps réel à l'aide d'un Garmin GPSMap 296 associé à plusieurs GPS, offrant une précision d'environ 1 m en latitude et longitude. Les positions sont enregistrées par intervalles d'une seconde, permettant ainsi un positionnement extrêmement précis des oiseaux et mammifères marins localisés ultérieurement dans les enregistrements.

La technologie HiDef GEN II 2.5 permet d'adapter, au cours de la session d'expertise, l'orientation des caméras à chaque transect et en fonction de l'ensoleillement. Ces ajustements, réalisés en temps réel par un opérateur présent au sein de l'avion, permet de limiter drastiquement les phénomènes d'éblouissement sur les enregistrements (meilleure qualité des images et analyses, pas de perte de données).

Lors du survol, un double enregistrement des données est réalisé directement dans l'avion.

## Analyse des enregistrements (vidéo)

Les enregistrements collectés feront l'objet de deux étapes d'analyse, menées en partenariat entre Biotope et BioConsult SH :

- Première étape de « Review » = repérage des oiseaux et mammifères marins sur les enregistrements vidéo, en utilisant un logiciel spécialement conçu et une équipe dédiée ;
- Seconde étape d'identification des objets : détermination de l'espèce, informations sur les comportements (en vol, posés), prise de mesures, localisation.

### Première étape d'analyse des images : Review (localisation des objets)

Une fois les données rapatriées au bureau, les données vidéo brutes sont converties en un format permettant une analyse plus poussée sur les postes informatiques dédiées à l'analyse des images. Les images du survol sont visualisées par des opérateurs expérimentés et formés, qui utilisent des écrans de visualisation haute résolution et un logiciel de gestion des images qui permet à l'opérateur de régler et de contrôler l'aspect des images. Les opérateurs n'ont pas pour objectif d'identifier des objets mais simplement de pointer les images nécessitant une analyse plus approfondie, ces informations spatiales fournissant un enregistrement précis de la position d'un individu (ou d'un objet).

Cette marque consiste à créer un point sur l'objet dans le logiciel d'analyse des images, créant ainsi un ensemble de données attributaires (localisation en latitude, longitude, type d'objet, etc.). Lors de cette première étape d'analyse, l'opérateur indique si l'objet est un oiseau (pose, en vol), un spécimen de mégafaune marine (regroupant dans cette étude les mammifères marins ou les autres espèces marines, hors oiseaux) ou bien encore des objets humains, tels que des bateaux, des bouées, etc.

Conformément à ses procédures habituelles d'assurance qualité, une **double vérification de 20% des enregistrements** fera l'objet d'une seconde analyse de review par un second opérateur. Aucune information sur la première analyse n'est communiquée à cet opérateur. Les résultats des deux analyses sur cet échantillon de 20 % des enregistrements sont comparés ensemble. Une marge d'erreur maximale de 10% est autorisée dans le cadre de la politique d'assurance qualité d'HiDef aerial surveying. En cas de non-respect de cette marge d'erreur maximale de 10%, les analyses sont reprises.

Les objets ne sont marqués que s'ils traversent une ligne de référence (nommée « ligne rouge »). Cette ligne rouge matérialise sur la séquence d'enregistrement vidéo la largeur réelle de 125 m de chaque caméra. En excluant les objets qui ne traversent pas cette ligne, les biais d'abondance éventuels dus à des mouvements d'oiseaux, sont évités.

## Seconde étape d'analyse des images : identification des objets

La seconde étape sera menée conjointement par HiDef et Biotope (participation croissante de Biotope au cours de la mission). Elle consistera en l'identification des objets préalablement repérés au cours de la 1<sup>ère</sup> étape : détermination de l'espèce, informations sur les comportements (en vol, posés), prise de mesures, localisation.

Les images pointées comme nécessitant une analyse plus poussée sont transmises à des ornithologues marins expérimentés, dont la plupart travaillent avec HiDef depuis plusieurs années et ont été formés à l'analyse d'images vidéo haute définition d'oiseaux, de mammifères marins et d'autres vertébrés. Les images peuvent être analysées à l'aide d'un logiciel pour améliorer leur aspect (lumière/contrastes etc.) et faciliter l'identification de l'objet. Dans le cadre de la présente mission, les experts naturalistes identifieront si possible au niveau de l'espèce et enregistreront toute autre information disponible (comportement, direction du vol ou de la nage, sexe, âge, etc.).



*Fou de Bassan (source : BioConsult SH / HiDef)*



*Mouette tridactyle et Labbe parasite (source : BioConsult SH / HiDef)*

Pour tous les mammifères marins et autres pélagiques identifiés, leur comportement est également noté, qu'ils se produisent à la surface ou en subsurface, ainsi que la direction de déplacement entre la première et la dernière image dans laquelle ils apparaissent.



*Phoque gris (source : BioConsult SH / HiDef)*



*Requin pélerin (source : BioConsult SH / HiDef)*

Un échantillon d'au moins 20% d'images sélectionnées au hasard est identifié indépendamment par un groupe séparé d'experts, avec pour seuil d'acceptabilité qu'il n'y ait pas plus de 10% de désaccord avec la première identification d'oiseaux et de mammifères marins. Les résultats de ces comparaisons sont ensuite analysés et toute anomalie examinée par un autre groupe d'experts ornithologues. En cas de divergences significatives (c'est-à-dire plus de 10% de désaccord pour l'ensemble de l'audit), les images sont ensuite réexaminées par un troisième ornithologue qui joue le rôle d'arbitre dans le processus pour décider de l'identification retenue. Bien que des outils d'aide à l'identification des objets soient utilisés, l'identification des espèces n'est pas automatisée.

Toutes les données sont géoréférencées et compilées dans une base de données unique. Les fichiers de données géoréférencés (SIG) pour les observations et le survol sont fournis sous format ArcGIS shapefile, suivant les spécifications du maître d'ouvrage.

## 1.1 Données collectées lors des inventaires

Les informations collectées concernent la mégafaune marine (mammifères marins, oiseaux, requins, grands poissons et tortues) mais également les objets liés aux activités humaines (bateaux, bouées, casiers...).

Les informations suivantes sont notées :

Informations	Description
Coordonnées géographiques de l'objet (Lat/Lon en WGS84)	Donnée complétée de manière automatisée
Transect ID	Identifiant unique du transect (donnée complétée de manière automatisée)
Survey ID	Identifiant de la campagne
Flight ID	Identifiant du vol
Plane	Identifiant de l'avion utilisé
Date	Donnée complétée de manière automatisée (au format AAAA-MM-JJ)
Heure	Donnée complétée de manière automatisée
Altitude	Altitude en m
Vitesse	Vitesse en m/s
Numéro de la caméra	Donnée complétée de manière automatisée
Nb images	Nombre total d'images réalisées sur le transect
Catégorie de l'objet	Oiseaux, animal non avien, bateau de pêche, autre bateau, déchet flottant...
Groupe d'espèces	Exemple : plongeurs, grands laridés, grands alcidés...
Certitude de la détermination du groupe d'espèces	Possible, probable ou certain
Espèce	Le nom anglais de l'espèce ou du taxon identifié
Certitude de la détermination de l'espèce	Possible, probable ou certain
Comportement	Le comportement de l'oiseau (en vol et quand quelle direction, posé, sur un reposoir) ou du mammifère marin
Alimentation	L'activité de pêche de l'oiseau : en recherche alimentaire ou non
Age	L'âge de l'individu observé si possible : juvénile, immature, adulte ou inconnu
Sexe	Le sexe de l'individu : mâle, femelle, inconnu
Comportements alimentaires	Description détaillée du comportement observé (s'alimentant de restes de pêche, plongeant, cleptoparasitisme...)
Conditions météorologiques	Clarté de l'air (présence ou non de nuages, de brume de chaleur...), état de la mer, turbidité/transparence, éblouissement ; toutes les 500 images sur 1 caméra et après chaque changement de transect (cf. liste des codes en annexe 1)
Note	Remarques complémentaires

L'effectif n'est pas noté car 1 objet = 1 donnée donc l'effectif est toujours de 1. Les groupes d'individus sont rattachés entre eux par un code de groupe.

## Résumé des principaux avantages de la technologie

Les suivis aériens digitaux haute altitude avec technologie HiDef présentent de nombreux avantages notamment :

- Facilité de mise en œuvre (conditions météorologiques moins limitées que les expertises par bateau et créneau nécessaire plus courts) ;
- La capacité à couvrir de grandes surfaces rapidement (importance des zones d'expertise, couverture « instantanée » cohérente à l'échelle d'aires de distribution adaptées à l'étude de la mégafaune marine) ;
- La capacité de survoler les parcs éoliens en mer en exploitation, à des hauteurs non contraintes (plus de 500 m) ;
- La standardisation des méthodes et la reproductibilité ;
- La limitation des biais de détection et d'identification ;
- L'enregistrement permanent des séquences vidéo, permettant des analyses ultérieures.

Dans le détail, les avantages de cette technique sont les suivantes :

- **Altitude de vol importante :**
  - 500 m (comparaison : suivis visuels = généralement 150-180 m / digital photo : 300-450 m) ;
  - **Pas de perturbation des oiseaux** (conforme recommandations BTO - Thaxter *et al.*, 2015) en raison de cette hauteur de vol , **Fiabilité** des expertises des espèces sensibles (macreuses, plongeurs, etc.)
  - Suivi possible **au-dessus de zones sensibles** (îles ou côtes, y compris **colonies d'oiseaux ou de mammifères marins**) ;
  - Largeur de suivi réel importante (500 m).
- **Sécurité accrue des expertises en mer ;**
- **Enregistrements de plusieurs images d'un même animal :**
  - En général 5 à 8 images par objet détecté ;
  - Améliore les probabilités de détection et d'identification des animaux (différents angles de vue) ;
  - Permet de ressortir des informations comportementales (prise en compte des mouvements) ;
  - Une meilleure capacité de mesure des dimensions des animaux (notamment en vol) ainsi que de mesures de hauteur de vol.
- **Taux de détection et d'identification très élevés :**
  - Détection théorique très élevée et homogène sur 500 m => **limitation maximale des biais observateurs** ;
  - Technique de limitation éprouvée des phénomènes d'éblouissement dans les enregistrements (technique spécifique d'orientation à la demande des caméras de 30° jusqu'à la verticale et design dédiée des transects) ;
  - **Détection très bonne des cétacés** et requins (même sous l'eau) (Buckland *et al.*, 2012; Williamson *et al.*, 2016; Mendel *et al.* 2018; Żydelis *et al.*, 2019) ;
  - Localisation précise des animaux / objets (géolocalisation) ;
  - Hauts standards pour les processus de vérification et d'identification ;
  - Précisions des comptages (notamment grands groupes) ;
- **Couverture surfacique importante et précise :**
  - Vitesse de survol environ 220 km/h => couverture zones très étendues en "instantané" ;
  - Suivis possibles des eaux peu profondes, îles, littoral => continuité des expertises
- **Moins dépendant des conditions météorologiques et état de mer**
  - Etat de la mer peut être moins bon que pour les suivis bateau (recommandé : ≤ 4 Beaufort) ;
- **Analyses statistiques robustes (diversité, abondance, distribution)**
- **Comparaison intersites fiables (taille de population) => biais minimes**
- **Très nombreuses informations collectées :** Repérage des pollutions et déchets ; Collecte de données sur activités humaines (bateaux et équipement de pêche par exemple) ; Enregistrement permanent ; Possibilité de vérifier / comparer les données après les suivis ; Possibilité d'exploiter les données *a posteriori* pour des analyses ultérieures.

# Synthèse des caractéristiques des expertises digitales par avion

Le tableau ci-dessous synthétise les principales caractéristiques des expertises aériennes digitales haute altitude (technologie HiDef).

Tableau 1 - Principales caractéristiques des expertises aériennes digitales haute altitude (technologie HiDef).

Caractéristiques	Expertises aériennes digitales vidéo haute altitude HiDef
<b>Protocole</b>	Enregistrement de données digitales sans observateurs. Analyses ultérieures (bureau)
<b>Mutualisable observateurs</b>	Non (haute altitude)
<b>Vitesse de déplacement lors des expertises</b>	Environ 220 km/h Couverture géographique importante et rapidité de la couverture surfacique (vision « instantanée » = limitation des risques de double comptage).
<b>Distances maximales couvertes en transects par jour pour l'AO4</b>	> 1000 km
<b>Conditions de mise en œuvre</b>	Vent inférieur ou égal à 4 Bft, ponctuellement 5 Bft Pas de pluie, pas de brouillard. Plafond nuageux > 1700 pieds. Les conditions de mer agitées (nombreux moutons, vagues de 1,5m et plus) gênent et ralentissent les analyses d'images mais n'empêchent pas les expertises.
<b>Perturbations des oiseaux engendrés par l'expertise</b>	Aucune perturbation des oiseaux posés ou en vol
<b>Fauchée (bande de détection efficace)</b>	500 m (4 bandes d'environ 125 m de large)
<b>Détection des oiseaux</b>	Détection homogène des individus dans une bande d'expertise de 500m. Très bonne détection des animaux (modulation du contraste des images, vision en surplomb, plusieurs images séquencées des objets disponibles grâce à la vidéo) Process d'analyse d'images garantissant un haut niveau de détection des objets (double vérification de 20% des analyses)
<b>Détection à l'espèce des oiseaux</b>	Très bonne détermination à l'espèce, analyse a posteriori des images. HiDef / BioConsult et Biotope s'engagent à viser un taux minimum de 80% pour la majorité des groupes d'espèces. Pas de biais observateur (pas d'effet de la fatigue d'expertise ni de compétences). Possibilité de vérifier autant de fois que nécessaire les enregistrements et les analyser par plusieurs experts.
<b>Dénombrement et détermination des groupes d'oiseaux</b>	Très bonnes capacités de dénombrement (comptage à l'individu, en surplomb).
<b>Détection des mammifères marins et grands pélagiques</b>	Très bonnes capacités de détection et de dénombrement, y compris pour des animaux immergés (si eau claire).
<b>Principaux avantages de la méthode</b>	Couverture géographique importante et rapidité de la couverture surfacique (vision « instantanée »). Détection théoriquement possible de tous les animaux en vol, en surface ou immergés à faible profondeur. Pas de biais observateurs Excellent dénombrement des groupes d'oiseaux posés et mammifères marins. Contrôle des données a posteriori, permanence des enregistrements, possibilité de réexploiter les données Impact nul sur le comportement des oiseaux (vol à plus de 500 m). Très haut niveau de détermination spécifique (pouvant atteindre 90% pour de nombreux groupes). Calculs de densités fiables et précis (oiseaux et mammifères marins).
<b>Limites de la méthode</b>	Coûts assez élevés (rapportés au km d'expertise). Temps d'analyse a posteriori relativement importants. Pas de pré-traitement automatique des données mais logiciel d'aide à l'analyse des images et identification. Détection limitée des plus petites espèces (océanites), biais similaire aux expertises aériennes visuelles Dépendant de l'expérience et des compétences des analystes d'images

# Présentation du plan d'échantillonnage

*A noter : les aires d'étude et design de transects pour les expertises aériennes visuelles sont les mêmes que celles des expertises aériennes digitales.*

Pour les expertises digitales haute altitude, une inter-distance entre transects de 5 km est utilisée pour obtenir une surface échantillonnée de 10 % par rapport à la surface totale de l'aire d'étude.

La zone tampon proposée autour de la zone de projet est de 20 km.

Avec une **zone tampon de 20 km** autour de la zone de projet (Figure 2), l'aire d'étude est de 3697 km<sup>2</sup>. Les **transects** sont au nombre de **15** avec une longueur totale des transects de **750 km**.

Les transects sont orientés Nord/Sud (orientation idéale pour les expertises aériennes digitales).

**Une seule journée est nécessaire pour parcourir ces transects.**

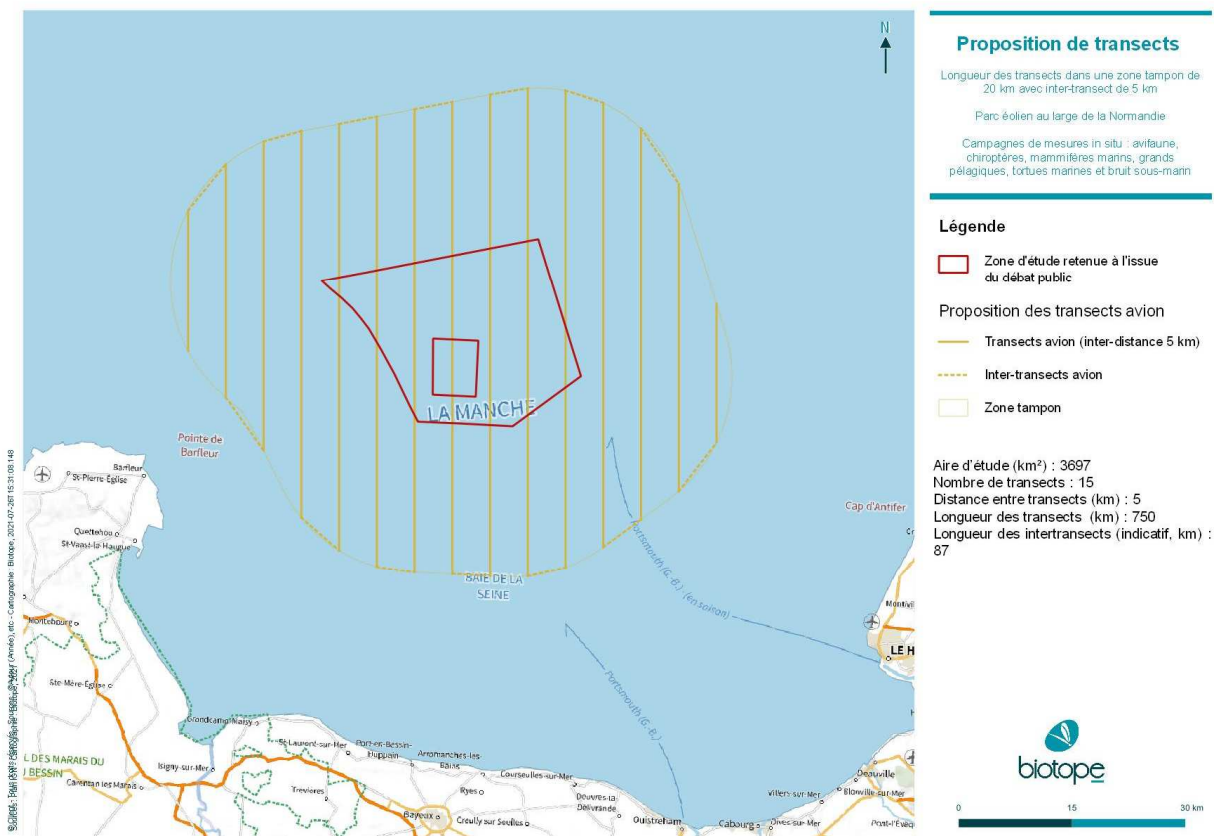


Figure 2 : Plan d'échantillonnage envisagé pour les expertises aériennes : tampon de 20 km, distance entre transects de 5 km



# Annexe 1

## Codes des conditions d'observation

Etat de la mer	Beaufort	Description	Aspect de la mer	Vent (nœuds)
	0	Calme		Mer lisse comme un miroir
1	Très légère brise		Quelques rides ressemblant à des écailles de poissons, mais sans aucune écume	1 à 3
2	Légère brise		Petites vaguelettes ne déferlant pas, toujours d'apparence lisses	4 à 6
3	Petite brise		Grandes vaguelettes. Les crêtes commencent à déferler. Ecume d'aspect vitreux. Parfois quelques moutons épars	7 à 10
4	Jolie brise		Petites vagues devenant plus longues, moutons assez fréquents	11 à 15
5	Bonne brise		Vagues modérées longues, moutons et éventuellement embruns	16 à 21
Houle	0 pas de houle ; 1 présence de houle ; 2 houle gênante			
Turbidité	0 - eau claire : objets/animaux visibles à plusieurs mètres sous la surface 1 - eau moyennement claire : objets/animaux visibles juste sous la surface 2 - eau turbide (ex zone vaseuse) : objets/animaux visibles seulement en surface 9 - turbidité inconnue			
Réflexion des nuages	0 - réflexion inexistante 1 - réflexion présente			
Eblouissement	A relever dans les 500 m de chaque côté sous l'avion 0 - aucun éblouissement 1 - léger : réverbération peu gênante 2 - moyen : réverbération pouvant gêner partiellement la détection 3 - fort : réverbération marquée très handicapante			
Couverture nuageuse	Utiliser le système des octas (i.e. complètement couvert = 8 ; dégagé = 0)			
Conditions subjectives	<p>Ceci revient aux observateurs qui estiment ensemble en fonction des paramètres relevés auparavant si leurs conditions générales d'observations par côtés sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Excellentes (E) : mer à 0 ou 1 et très bonne visibilité</li> <li>- Good, bonnes (G) : les paramètres sont bons pour détecter tous les animaux.</li> <li>- Moyennes (M) : pas très bons mais suffisamment corrects pour la détection.</li> <li>- Pauvres (P) : quand il paraît impossible de voir un petit cétacé sauf si il est bien démonstratif ou très proche.</li> </ul> <p>Exemple par côté : EE, GG, MM ou PP, chaque côté peut avoir une qualité d'observation différente : EG, GM, MG, PM...</p> <p>On indique également : Land (LL) : lorsque l'on survole la terre (ex. une île !) et Exceptionnel (X) : circonstances exceptionnelles, lorsqu'un observateur ne peut pas suivre son effort d'observation (ex. malade) – Il sera aussi utilisé quand on stoppe l'effort en cas de brouillard ou pluie.</p> <p><u>Note</u> : Le navigateur doit remettre les conditions dès que l'effort d'observation est repris après avoir passé la terre ou un nuage de pluie.</p>			



Biotope Siège Social  
22, boulevard Maréchal Foch  
B.P. 58  
34140 MÈZE  
Tél. : +33 (0)4 67 18 46 20  
[www.biotope.fr](http://www.biotope.fr)

