



Étude et suivi de la distribution de la population de dugongs de Nouvelle-Calédonie par survol aérien

Étude réalisée par Wipsea (1) et l'Avion Jaune (2),
avec le concours de Vertical Passion et de l'UMR AMAP (3)
dans le cadre de la convention n°2018-11/CEN-PPM pour le Plan d'actions dugong

Rapport d'analyse des données de la campagne de 2018

Rapport n°3/3

Gwenaël Duclos (1), Clément Aubert (1), Romain Dambreville (1),
Gilles Le Moguedec (3) et Bruno Roux (2)

Dans le cadre du

Plan d'actions
dugong



en Nouvelle-Calédonie

www.plan-actions-dugong.nc

Référence à citer : Duclos G., Aubert C., Dambreville R., Le Moguedec G., Roux B. *Étude de la distribution de la population de dugongs de Nouvelle-Calédonie par survol aérien, 2019. Rapport d'analyse des données de la campagne de novembre 2018. 53p+ annexes*

Les résultats et avis exprimés au sein de ce rapport sont ceux des auteurs ; ils ne reflètent pas nécessairement les points de vue des membres du PAD et ne les engagent d'aucune façon.

Le Conservatoire d'espaces naturels de Nouvelle-Calédonie a lancé en 2018 pour le Plan d'actions dugong (PAD) de Nouvelle-Calédonie un appel d'offres pour la réalisation d'une étude et d'un suivi de la distribution de la population de dugongs en Nouvelle-Calédonie.

Le Conservatoire d'espaces naturels de Nouvelle-Calédonie est un Groupement d'Intérêt Public qui assure l'animation du Plan d'actions dugong.



et structures associées :



La mise en œuvre de cette étude a été coordonnée par Wipsea, société spécialisée dans le traitement automatique d'images aériennes pour la détection d'espèces animales menacées. La maîtrise d'œuvre a fait appel à l'Avion Jaune, société française responsable de l'acquisition des images en vol, à Vertical Passion, société calédonienne ayant mis à disposition un avion Cessna et un pilote expérimenté et à l'UMR AMAP qui a apporté une expertise en analyse de données.



Cette étude a été financée par l'Agence Française pour la Biodiversité (AFB) et le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (MTES, via la Direction du service de l'Etat de l'Agriculture, de la Forêt et de l'Environnement de Nouvelle-Calédonie)



et parrainée par Aircalin.



SOMMAIRE

Sommaire	3
Liste des figures	5
Liste des TABLEAUX	6
Résumé	7
1. Introduction et contexte de l'étude	9
2. DONNEES BRUTES	11
2.1. Méthode d'acquisition des données	11
2.1.1. Effort d'échantillonnage	11
2.1.2. Phase préliminaire	16
2.1.3. Phase d'acquisition	17
2.1.4. Relevé des conditions environnementales	18
2.1.5. Stockage et prétraitement des photos	18
2.1.6. Vérification de la qualité des photos	19
2.2. Méthode d'analyse des photographies	22
2.2.1. Effort d'observation basé sur l'utilisation d'un réseau de neurones	22
2.2.2. Principe de l'analyse semi-automatique	26
2.2.3. Méthode de validation des détections automatisées	32
2.3. Méthode de traitement et de restitution des données extraites des photographies ...	34
2.3.1. Récupération des détections, résolution des doublons et export des données ...	34
2.3.2. Génération des cartes de distribution	35
2.4. Résultats bruts	37
2.4.1. Observations des dugongs par bloc	37
2.4.2. Observations opportunistes	38
3. ABONDANCE RELATIVE	39
3.1. Méthode de calcul de l'abondance relative	39
3.1.1. Paramètres environnementaux	39
3.1.2. Calcul de l'abondance relative	39
3.2. Résultats des estimations d'abondance et de densité relative	42
4. DISCUSSION, PRECAUTIONS ET PERSPECTIVES	45
5. CONCLUSION	51
6. Bibliographie	53
7. ANNEXES	54
7.1. Tableau des statistiques principales de la mission	54
7.2. Tableau des hauteurs de vol et conditions de vent pour chaque transect	54

7.3. Tableau du nombre de photos affectées par des problèmes de qualité liés aux conditions environnementales	55
7.4. Tableaux des détections effectuées visuellement par Wipsea et classées par les vérificateurs pour alimenter la phase d'entraînement ou tester les performances de l'algorithme	56
7.5. Critères de détermination de la probabilité de disponibilité.....	61
7.6. Tableaux des détections effectuées par le logiciel, nettoyées par Wipsea puis classées par les vérificateurs	62
7.7. Tableaux des détections par bloc exportés depuis QGIS à l'aide du « plugin SEMMA-DRONE » et détections relevées hors logiciel	70
7.8. Tableau indiquant la surface échantillonnée par les photos sur chaque transect avec le numéro de la photo du début du transect.....	74
7.9. Cartes de distribution des dugongs par bloc	82
7.10. Récapitulatif du nombre de groupes et de dugongs par campagne de survols aériens	86
7.11. Récapitulatif des résultats de calcul de l'abondance relative des dugongs lors des différentes campagnes de survols aériens	88
7.12. Récapitulatif de la densité relative des dugongs lors des différentes campagnes de survols aériens	89

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Découpe des unités d'observation du lagon ou "blocs" recommandées	12
Figure 2: Figures illustrant le protocole utilisé lors des précédentes campagnes [Cleguer 2015]	12
Figure 3: Protocole d'acquisition de photographies aériennes utilisé lors de la campagne 2018	13
Figure 4: Nombre et espacement des transects par bloc	15
Figure 5: survols réalisés lors de la campagne 2018	16
Figure 6: Exemple de la dernière photo (CF038888) jugée trop sombre dans le transect 14 du bloc 1	20
Figure 7: Exemple de la photo CF036311 (transect 1, bloc 1) affectée à 25% par la présence de nuages	20
Figure 8: Exemple de la photo CF036416 (transect 2, bloc 1) affectée à 100% par la présence de nuage	21
Figure 9: Exemple de la photo CF047482 (transect 177, bloc 2) dont plus de 50% de la surface est affectée par des reflets sur vaguelettes	21
Figure 10: Exemple de la photo CF051832 (transect 259, bloc 4) dont plus de 25% de la surface est affectée par un reflet spéculaire	22
Figure 11: Photo CF041159 prise le 30/10/2018 dans le bloc 1 avec un vent établi à 10 nœuds, le rond entoure une détection automatique de dugong (score de confiance de 0.98), le carré entoure une détection opportuniste de dugong.	24
Figure 12: CF041159 : Zoom sur la détection automatique du dugong.	24
Figure 13: CF041159: Zoom sur la détection opportuniste de dugong.	25
Figure 14: Position géographique de la zone de référence	29
Figure 15: Représentation de la diversité des fonds marins dans la zone de référence	29
Figure 16: Illustration (sous Google Maps) du géo-positionnement des photos acquises en échantillonnant le bloc 1	34
Figure 17: Abondance relative des dugongs sans/avec prise en compte du score de confiance fourni par le logiciel Harmony sur chacun des blocs et sur l'ensemble des 4 blocs	43
Figure 18: densité relative estimée lors de la campagne 2018 pour chaque bloc et en moyenne sur l'ensemble des 4 blocs sans/avec prise en compte du score de confiance donné par le logiciel Harmony.	44
Figure 19: Photo CF047482 prise le 08/11/2018 à 9h11 (heure locale) dans le bloc 2 avec un vent établi à 5 nœuds. Les ovales entourent les détections automatiques de dugong, les traits indiquent une détection automatique avec une largeur très faible. Le seuil a été réglé à 0 pour afficher l'ensemble des fausses détections.	46
Figure 20: photo CF041159 prise le 31/10/2018 à 08h05 (heure locale) dans le bloc 1 avec un vent établi de 10 nœuds. Le rond et l'ovale entourent une détection automatique de dugong, les traits indiquent une détection automatique avec une largeur très faible. Le seuil a été réglé à 0 pour afficher l'ensemble des fausses détections.	46
Figure 21: Photo CF044270: Groupes de dugongs proposés par Wipsea aux vérificateurs	47
Figure 22: Photo CF044270: Groupes de dugongs validés par les vérificateurs	47
Figure 23: Carte de distribution des dugongs jugés "certains" (n=5) dans le bloc 1	82
Figure 24: Carte de distribution des dugongs jugés "certains" (n=5) et "incertains" (n=4) dans le bloc 1	82
Figure 25: Carte de distribution des dugongs jugés "certains" (n=72) dans le bloc 2	83
Figure 26: Carte de distribution des dugongs jugés "certains" (n=72) et "incertains" (n=23) dans le bloc 2	83
Figure 27: Carte de distribution des dugongs jugés "certains" (n=0) et "incertains" (n=2) dans le bloc 6	84
Figure 28: Carte de distribution des dugongs jugés "certains" (n=2) dans le bloc 4	85
Figure 29: Carte de distribution des dugongs jugés "certains" (n=2) et "incertains" (n=4) dans le bloc 4	85
Figure 30: Récapitulatif du nombre de dugongs par bloc et par campagne de survols aériens (sans/avec les détections jugées "dugongs incertains" pour la campagne 2018)	87
Figure 31: Graphique récapitulatif des résultats d'abondance relative des dugongs lors des différentes campagnes de survols aériens	88
Figure 32: Graphique récapitulatif des résultats de densité relative des dugongs des différentes campagnes de survols aériens	89

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Effort d'analyse visuelle des photographies pour alimenter la phase d'apprentissage du logiciel	28
Tableau 2: Tableau des premiers résultats de détection du logiciel Harmony sur la zone de référence	30
Tableau 3: efforts et résultats de vérification par les "vérificateurs"	33
Tableau 4: Résultats des validations et classifications menées par le commanditaire sur les détections proposées par Wipsea après nettoyage des fausses détections	37
Tableau 5: Tableau des intervalles des scores de confiances donnés par le logiciel Harmony sur les détections automatiques	38
Tableau 6: Abondance relative des dugongs sans prise en compte du score de confiance fourni par le logiciel Harmony	42
Tableau 7: Abondance relative des dugongs avec prise en compte du score de confiance fourni par le logiciel Harmony	42
Tableau 8: Surface de chaque bloc	43
Tableau 9: Densité relative estimée lors de la campagne 2018 pour chaque bloc et en moyenne sur l'ensemble des 4 blocs, sans/avec prise en compte du score de confiance donné par le logiciel Harmony	44
Tableau 10: Tableau des statistiques principales de la mission issu du rapport de mission	54
Tableau 11: Altitude de vol et appréciation des conditions météorologiques pour chaque transect	55
Tableau 12: nombre de photos affectées par des problèmes de qualité liés aux conditions environnementales	55
Tableau 13: Tableau des classements donnés par les vérificateurs sur les détections effectuées visuellement par Wipsea pour alimenter la phase d'entraînement (photos hors transects de référence) ou tester les performances de l'algorithme (photos des transects de référence)	58
Tableau 14: Tableau résumant, parmi les détections visuelles, celles utilisées pour l'entraînement et celles utilisées pour le test sur la zone de référence, puis les détections obtenues par et grâce au logiciel (détection automatique et détection manuelle) ainsi que l'évolution du classement de ces détections par les vérificateurs entre le classement initial (phase de test) et le classement final (phase d'analyse pour validation des résultats)	60
Tableau 15: Critères de détermination de la probabilité de disponibilité	61
Tableau 16: Choix final des vérificateurs pour les détections du bloc 1	62
Tableau 17: Choix final des vérificateurs pour les détections du bloc 2	66
Tableau 18: Choix final des vérificateurs pour les détections du bloc 4	67
Tableau 19: Choix final des vérificateurs pour les détections autour de l'île Bélep	67
Tableau 20: Résumé des validations et classifications menées par les vérificateurs sur les détections effectuées par le logiciel et « nettoyées » par Wipsea	69
Tableau 21: Détections du bloc 1	70
Tableau 22: Détections du bloc 2	73
Tableau 23: Détections dans le bloc 4	73
Tableau 24: Détections du bloc 6	73
Tableau 25: Surface échantillonnée par les photos pour chaque transect avec numéro de la photo du début du transect et quelques commentaires	81
Tableau 26: Récapitulatif du nombre de groupes de dugongs et du nombre de dugongs par bloc et par campagne (sans/avec les détections jugées "dugongs incertains" pour la campagne 2018)	86
Tableau 27 : Récapitulatif des résultats de calcul de l'abondance relative des dugongs lors des différentes campagnes de survols aériens	88
Tableau 28 : Récapitulatif de la densité relative des dugongs lors des différentes campagnes de survols aériens	89

RESUME

Dans le cadre du Plan d'actions dugong, un appel d'offres a été lancé, en 2018, pour réaliser une nouvelle étude de la distribution et de l'abondance de la population de dugongs de Nouvelle-Calédonie.

La mise en œuvre de cette étude a été coordonnée par Wipsea, société spécialisée dans le traitement automatique d'images aériennes pour la détection d'espèces animales menacées. La maîtrise d'œuvre a fait appel à l'Avion Jaune, société française responsable de l'acquisition des images en vol, à Vertical Passion, société calédonienne ayant mis à disposition un avion Cessna et un pilote expérimenté et à l'UMR AMAP qui a apporté une expertise en analyse de données.

La première mission du projet a consisté à acquérir des données sur la distribution et l'abondance de la population par de l'imagerie lors d'une campagne aérienne.

La campagne aérienne s'est déroulée entre le 24 octobre et le 24 décembre 2018 en Nouvelle-Calédonie. Le vent a été particulièrement soutenu en novembre et décembre, avec un alizé puissant et durable [Météo France, 2018].

La collecte de données a fait appel aux nouvelles technologies d'observation - par l'utilisation d'un appareil photographique très haute définition placé dans un aéronef Cessna 206 - et d'analyse - par l'utilisation du logiciel Harmony composé d'un algorithme de détection semi-automatique d'objets sur images et d'un module cartographique. Deux rapports sur la phase d'intégration du système de prise de vue dans l'avion et le déroulement de cette phase d'acquisition ont été livrés [Roux et Duclos 2018] [Roux et Duclos 2019].

La zone échantillonnée s'est étendue sur cinq blocs d'études situés dans la périphérie ouest et nord-est de la Grande Terre. La délimitation des blocs et le positionnement des transects ont suivi le plan d'échantillonnage recommandé par Cleguer et al, 2018. Les blocs survolés ont été les blocs n°1 à 4 (imposés par le cahier des charges), et bloc n°6 (optionnel), compte tenu des heures de vol restantes, de la faisabilité de continuité avec le plan de vol programmé et de l'intérêt de la zone suite à des signalements récents de dugongs. Les blocs 5, 7, 8 (optionnels) n'ont pas pu être couverts, compte tenu du plafond budgétaire imposé.

Le plan d'échantillonnage comprend 299 transects s'étendant entre la côte et le récif barrière. Afin de couvrir une surface similaire aux deux campagnes de l'année 2012, les transects ont été espacées de 0,625 (bloc 2) et 1,25 (autres blocs) miles nautiques (MN).

L'aéronef est équipé d'une trappe créée spécifiquement pour des missions de cartographies aériennes. Cette trappe ne permettait pas d'envisager une inclinaison de l'appareil photo ou l'utilisation d'un deuxième appareil photo.

Pour atteindre la résolution utile de 4 cm par pixel sur les images nécessaire à l'interprétation des images, l'appareil photographique utilisé est une caméra Phase-One IXU 180 de 80 Mégapixels avec deux focales de 55 et 110 mm induisant des hauteurs respectives de vol de 1400 pieds et 2800 pieds. Prise à la verticale, chacune des images a couvert une emprise de 417x313 m et possède une bande de 50 m en commun avec la suivante le long de l'axe de vol (côté court). La précision du système de géo-référencement est de 50 m, qui peut être corrigé lors de la projection

et du géoréférencement des photographies. La vitesse de vol était de 90 nœuds soit 170 km/h.

La phase d'intégration du système de prise de vue dans l'avion a représenté 5h30 de vols. L'échantillonnage a été réalisé en 55h05 (dont 36h47 sur les transects, le reste sur les transits) réparties sur 15 jours entre le 27 octobre et le 6 décembre 2018 et a généré 19 986 photos de 80 Mégapixels chacune.

A l'aide du logiciel Harmony, une analyse semi-automatique des images a été menée durant le premier trimestre 2019. Les détections relevées par l'algorithme ont été soumises à validation par de personnes dites « vérificateurs » et classées en trois catégories « pas dugong » (la détection relevée par l'algorithme n'est, pour le valideur, pas un dugong), « dugong certain » (le valideur confirme que la détection relevée par l'algorithme est bien un dugong), dugong « incertain » (le valideur ne peut pas garantir que la détection relevée par l'algorithme est un dugong et ne peut pas écarter la possibilité qu'elle le soit).

L'analyse semi-automatique du logiciel et la validation des détections par des vérificateurs ont permis de considérer la présence de 79 dugongs considérés « certains » et de comptabiliser 33 détections complémentaires considérées « incertaines » de dugong. Lors de cette campagne, la distribution des dugongs est principalement observée dans le bloc 2 avec 72 dugongs considérés « certains » et 23 dugongs considérés « incertains ». Dans le bloc 1, sont observés cinq dugongs « certains » et quatre dugongs « incertains ». Dans le bloc 4, sont observés deux dugongs « certains » et quatre dugongs « incertains ». Dans le bloc 6, sont observés deux dugongs « incertains ». Aucun dugong n'est observé dans le bloc 3. Vingt doublons de dugongs considérés comme « certain » et 4 doublons de dugongs considérés comme « incertain » ont été détectés. Au total, 135 détections ont été classées.

L'estimation relative d'abondance calculée sur la base du nombre de dugongs « certains » sans les scores de confiance du logiciel pour la campagne 2018 s'élève à 366 (e.t.=172) dugongs.

La méthode ayant évolué lors de cette campagne, ces estimations ne peuvent pas être directement comparées aux estimations faites pendant les campagnes précédentes réalisées avec des observateurs embarqués. Pour mettre en perspective ces résultats, l'estimation de la population était de 2026 (e.t.=553) en juin 2003, 606 (e.t.=200) en janvier 2008, 881 (e.t.=201) en juin 2011, 649 (e.t.=195) en novembre 2011, 1227 (e.t.=296) en juin 2012 et 898 (e.t.=231) en novembre 2012 [Cleguer 2015].

Les détections extraites ont permis de produire une carte de distribution des dugongs.

Les apports de ces technologies ont permis de se placer dans des altitudes de vol en dehors des zones de turbulences liées au relief ; de faire appel à une équipe réduite (un pilote et un opérateur du système de photogrammétrie); de pérenniser la donnée (pouvant permettre des analyses supplémentaires ou contre-expertise).

Le présent document constitue le rapport final de présentation et d'analyse de données brutes acquises lors de la campagne 2018 (*rapport n°3/3*).

1. INTRODUCTION ET CONTEXTE DE L'ETUDE

Le dugong (*Dugong dugon*) est un mammifère marin herbivore, faisant partie de l'ordre des siréniens et de la famille des Dugongidés.

Le dugong est classé comme vulnérable sur la liste rouge de l'UICN (Marsh, 2015) car sa population est en constante régression dans l'ensemble de sa zone de répartition (étendue de l'Afrique orientale jusqu'au Vanuatu), principalement à cause des activités humaines (pêche illégale, capture accidentelle dans les engins de pêche, collision avec les embarcations nautiques, destruction de son habitat, etc.).

En Nouvelle-Calédonie, la population de dugongs, bien que de petite taille, figure parmi les plus importantes au monde. Cette spécificité a participé à la reconnaissance des « lagons de Nouvelle-Calédonie : diversité récifale et écosystèmes associés » comme bien naturel appartenant au patrimoine mondial de l'UNESCO depuis 2008.

Plusieurs campagnes de comptages aériens ont été menées en 2003, 2008, 2011 et 2012 [Garrigue 2004, 2008, 2009, 2011, 2012, 2013]. Pour ces dernières, l'avion embarquait à son bord un équipage d'observation en plus du pilote et volait à basse altitude (900 pieds) afin que les observateurs puissent distinguer les dugongs au fur et à mesure du vol en regardant obliquement par les fenêtres de chaque côté de l'avion.

La distribution et l'estimation de la taille de la population ont été étudiées pour chacune de ces campagnes. L'étude à plusieurs échelles spatio-temporelles, menée par Cleguer de 2012 à 2015 dans le cadre d'une thèse [Cleguer 2015], inclue une « évaluation de la variabilité temporelle de l'abondance relative des dugongs » permettant d'accroître les connaissances sur l'écologie spatiale de cette espèce dans le lagon.

Une des conclusions de cette étude est que « les analyses des données collectées au cours des comptages aériens de dugongs conduits en Nouvelle-Calédonie, s'étendant sur une dizaine d'années, montrent que les dugongs étaient significativement plus abondants en 2003 (2026 e.t.= 553) qu'en 2008, 2011 et 2012. Leur abondance relative n'a plus variée significativement depuis 2008. ». Cette abondance relative était estimée à 2026 dugongs (e.t.=553) en 2003 et entre 606 (e.t.=200) et 1227 dugongs (e.t.=296) entre 2008 et 2012.

Dans le cadre du Plan d'actions dugong (PAD), il était prévu de réaliser, en 2018, une nouvelle étude de la distribution et de l'abondance de la population de dugongs. Un appel d'offre a été lancé par le Conservatoire d'espaces naturels de Nouvelle-Calédonie pour le PAD.

La présente étude s'est voulue, autant que possible, dans la continuité des précédents suivis de la distribution et de l'abondance de la population de dugongs autour de la Grande Terre mais implique une rupture technologique en faisant appel à un appareil photographique de très haute résolution et à un logiciel d'analyse semi-automatique des images pour procéder aux détections des dugongs. La société l'Avion Jaune, spécialisée en photogrammétrie, a fourni la prestation d'acquisition des images. L'entreprise Vertical Passion a fourni les moyens aériens. La société WIPSEA, spécialisée dans l'analyse d'images pour l'écologie et plus particulièrement

la détection de faune sauvage dans des photos ou des vidéos à l'aide d'algorithmes basés sur l'apprentissage profond dans un contexte où peu de données sont disponibles et où les détections représentent une très petite partie de l'image, a fourni la prestation d'analyse des images et d'analyse des données, appuyé pour cette dernière d'une expertise statistique de l'UMR AMAP.

Les rapports d'intégration du système de photogrammétrie dans l'avion [Roux et Duclos 2018], d'acquisition des photos [Roux et Duclos 2019] et d'analyse des données issues de ces photos font l'objet de trois documents distincts.

Le présent rapport constitue le rapport d'analyse des données récoltées lors de la campagne 2018. Il résume la méthode d'acquisition des données ; décrit la méthodologie menée pour l'analyse des images ; précise la méthode choisie pour l'analyse des données puis présente les données obtenues et les résultats d'analyse.

2. DONNEES BRUTES

2.1. Méthode d'acquisition des données

La réalisation de la campagne de survols 2018 a été réalisée en saison chaude selon les recommandations préconisées [Cleguer, 2018].

2.1.1. Effort d'échantillonnage

La méthode « standard » de comptage aérien des populations de dugongs est définie par les travaux de [Heinsohn *et al.* 1976] et [Marsh *et al.* 2011]. Elle est basée sur des « transects en bande », mis au point par [Marsh et Sinclair, 1989] et [Pollock *et al.* 2006]. En Nouvelle-Calédonie, ces transects ont été tracés, régulièrement espacés, entre le récif barrière et la Grande Terre. Ils échantillonnent ainsi des secteurs prédéfinis ou « Blocs » correspondant à des discontinuités dans la distribution des animaux [Garrigue et Patenaude, 2004] (cf. Figure 1). En 2018, la zone échantillonnée a couvert les blocs 1 à 4 et 6. La délimitation des blocs et le positionnement des transects ont suivi le plan d'échantillonnage recommandé par Cleguer *et al.*, 2018. En 2011, la surface échantillonnée a été doublée sur le bloc 2 car les campagnes précédentes (2003 et 2008) avaient montré une plus forte fréquentation dans cette zone. Cet effort a été conservé en 2018. En revanche les limites budgétaires encadrant le projet ont contraint le commanditaire à rendre le survol des blocs 5 à 8 optionnel basé sur la constatation d'une moindre fréquentation lors des campagnes précédentes (2011 et 2012). Les blocs 5, 7, 8 (optionnels) n'ont pas pu être couverts. Un vol linéaire du bloc 6, un transect permettant de faire le tour de l'île Bélep, a pu être effectué, compte tenu des heures de vol restantes, de la faisabilité de continuité avec le plan de vol programmé et de l'intérêt de la zone suite à des signalements récents communiqués par la population.

La méthode de comptage aérien mise en œuvre au cours de la campagne de survols 2018 est relativement différente des campagnes précédentes. Auparavant, des personnes embarquées dans l'avion relevaient les observations de mégafaune marine à travers une fenêtre-bulle dans une zone prédéfinie et délimitée par un quadra (cf. Figure 2). Le principe des transects et des blocs a été conservé (cf. Figure 1) mais a été choisie une méthode de relevé des données semi-automatique inspirée des travaux de [Hodgson *et al.* 2013] en équipant l'avion d'un appareil photo à très haute résolution [Roux et Duclos 2018 p4] pour prendre des photos à la verticale à intervalles réguliers. L'équipage était restreint à un pilote¹ et un opérateur du système de photogrammétrie².

¹ Paul Ganga, pilote d'avion certifié, Vertical Passion

² Bruno Roux, opérateur des systèmes embarqués, l'Avion Jaune

Plan d'échantillonnage recommandé – *the recommended sampling plan* (Cleguer et al., 2018).

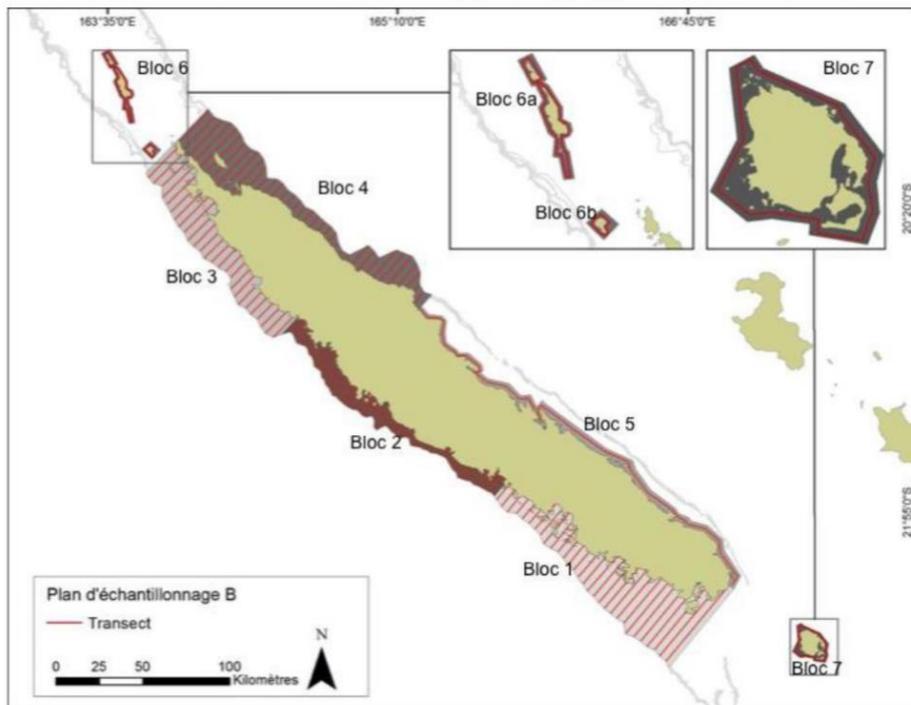


Figure 1: Découpe des unités d'observation du lagon ou "blocs" recommandées

Pour mémoire, la zone d'observation délimitée lors des précédentes campagnes, pour chaque transect survolé, couvrait une largeur de 400 m de part et d'autre de l'avion (correspondant à des bandes) (cf. Figure 2).

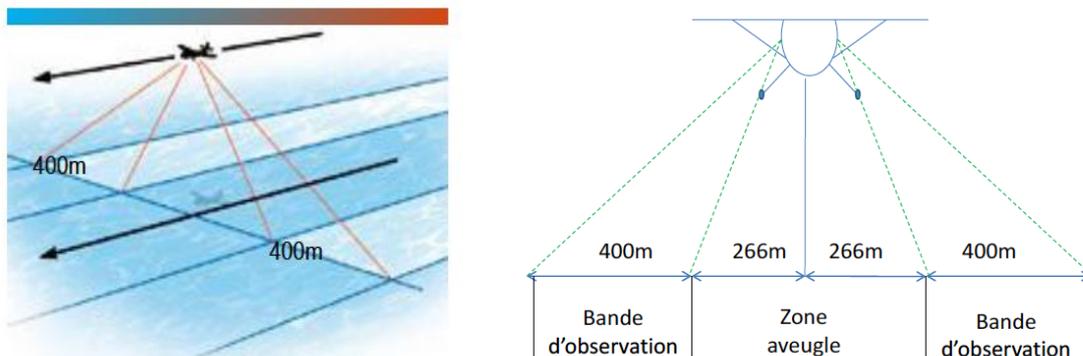


Figure 2: Figures illustrant le protocole utilisé lors des précédentes campagnes [Cleguer 2015]

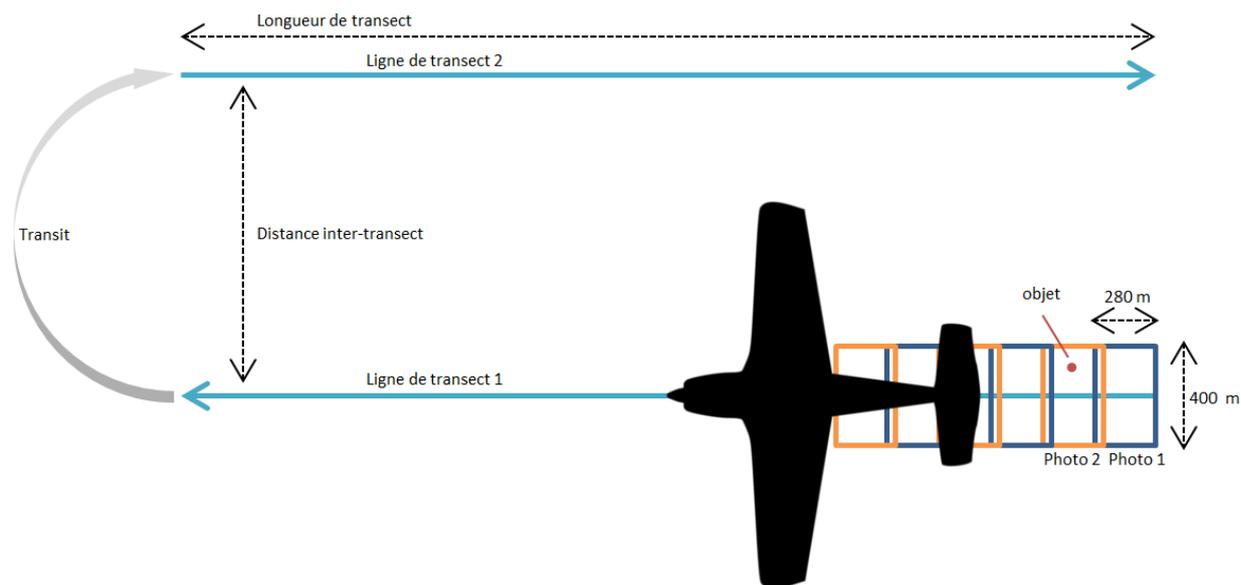


Figure 3: Protocole d'acquisition de photographies aériennes utilisé lors de la campagne 2018

Pour la campagne 2018 :

- chaque transect survolé a été photographié à la verticale (cf. Figure 3). Une emprise de 400 m (en latéral) x 280 m (le long du transect) des images étaient requises pour respecter les spécifications de l'analyse semi-automatique. La zone photographiée par transect correspond à une largeur équivalente à celle observée par un observateur embarqué lors des campagnes précédentes. Pour chaque transect, l'intervalle de temps entre les prises de vue a été programmé pour que chaque photo possède une bande de 50 m (environ 20%) en commun avec la suivante (sur la partie courte de 280 m), prise le long de l'axe de vol afin d'obtenir une bande d'observation continue le long d'un même transect.

Entre chaque photo successive, la limitation à 20% la superposition des photos le long du transect permet de minimiser le traitement des doublons pendant l'étape de géolocalisation.

Pour atteindre une résolution utile de 4 cm par pixel, la focale de 55 mm de l'appareil a été utilisée à 1400 pieds d'altitude et la focale de l'appareil de 110 mm a été utilisée à 2800 pieds d'altitude.

Pour couvrir une surface d'échantillonnage équivalente au protocole basé sur l'embarquement de deux observateurs, placés de chaque côté de l'avion :

- un premier transect survolé lors de la présente étude (exemple : un aller sur une ligne de transect de la côte au récif) couvre l'équivalent de la surface échantillonnée par un premier observateur embarqué (exemple : positionné à gauche de l'avion).

- un second transect a été ajouté (transect supplémentaire par rapport aux campagnes avec observateur embarqué) dont le choix de positionnement (distance entre deux transects) est précisé ci-après. Ce transect additionnel (exemple : un retour par rapport au transect précédent du récif à la côte), parallèle au premier, et décalé d'une certaine distance couvre l'équivalent de la surface échantillonnée par un second observateur embarqué (exemple : positionné à droite de l'avion).

Ce nouveau plan de vol introduit toutefois un décalage temporel entre deux transects photographiés et peut entraîner un potentiel « double comptage » du même individu, dû à son éventuel déplacement d'un transect à l'autre.

Prise en considération du risque de « double comptage » dans la définition des transects

Différentes solutions ont été envisagées pour palier le risque de double comptage :

Une première solution envisagée pour supprimer ce risque était de proposer le retour en avion sur une ligne de transect additionnelle, parallèle et située au milieu de l'espace séparant deux lignes de transect établies dans le plan d'échantillonnage des précédentes campagnes. Pour les transects les plus rapprochés, c'est-à-dire du bloc 2, distants de 1,25 MN (2315 m), la distance entre chaque passage d'avion serait de 0,625 MN (1157,5 m), qu'un dugong peut franchir en environ 7 minutes (en considérant une vitesse maximum de déplacement de 10km/h [Marsh et al. 1981]). La longueur maximum d'un transect pour éviter un « double comptage » serait alors de 10,41 MN (19 293 m). Or, dans le bloc 2, aucun transect ne dépasse 9,71 MN de long. Pour les autres blocs (1, 3, 4) où la distance inter-transect est de 2,5 MN, la longueur maximum d'un transect pour éviter un « double comptage » serait de 20,82 MN (38 586 m). Seuls les transects 1-1, 1-2 et 1-3 du bloc 1 (tels qu'ils avaient été définis pour les campagnes précédentes) dépassaient cette valeur.

Une deuxième option sur la stratégie de vol consistait à survoler les transects établis dans le plan d'échantillonnage des précédentes campagnes sans transects additionnels mais en inclinant successivement la chambre de prise de vue à droite et à gauche selon un angle fixe et déterminé à l'avance pour couvrir une emprise totale de 800 m (en latéral). Cette logique présente l'avantage de réduire le temps de vol par rapport à la première solution et se rapproche plus des méthodes d'observation habituelles. L'effet de l'inclinaison entraîne une modification de la résolution au sol d'un côté à l'autre de la photo par rapport à une photo prise à la verticale, ce qui peut rendre les animaux moins bien résolus sur les côtés de la photo. On peut leur faire subir une distorsion pour les ramener avec une résolution uniforme mais ce n'est plus nécessaire avec l'apprentissage profond (transformations multiples intégrées dans l'algorithme).

Le bâti recevant le système de prise de vue est construit pour permettre les inclinaisons latérales et aucune adaptation supplémentaire n'est nécessaire pour appliquer cette méthode.

Pour tester la solution d'inclinaison successive de la chambre de prise de vue à droite et à gauche, un test d'intégration avait été programmé par l'Avion Jaune début octobre en Méditerranée. Les conditions météorologiques (tornade sur le Portugal) n'ont pas permis la réalisation du vol "test" près de Montpellier.

Néanmoins, cette option était conditionnée à la compatibilité entre la largeur de la trappe sous l'avion et la distance nécessaire à l'appareil photo pour se mouvoir de droite à gauche. L'espace disponible entre l'objectif de l'appareil photo et les parois de la trappe de l'avion fourni par Vertical Passion étant trop réduit pour les mouvements imaginés, cette option n'a pas été retenue.

L'option de l'installation de deux appareils photos en parallèle n'a pas été retenue dès la rédaction de la réponse à l'appel d'offre pour des raisons de non disponibilité d'un second appareil photo et du surcoût qu'il aurait engendré.

La mise en place de transects additionnels a, de fait, été retenue par les commanditaires³. Le plan d'échantillonnage de la campagne 2018 comprenait 299 transects s'étendant entre la côte et le récif barrière (cf. Figure 4). Les transects ont été espacés de 0,625 MN pour le bloc 2 et de 1,25 MN pour les blocs 1, 3 et 4 miles nautiques (MN).

Bien que cet espacement soit deux fois plus faible que lors des campagnes de 2011 et 2012, la surface échantillonnée par bloc est identique.

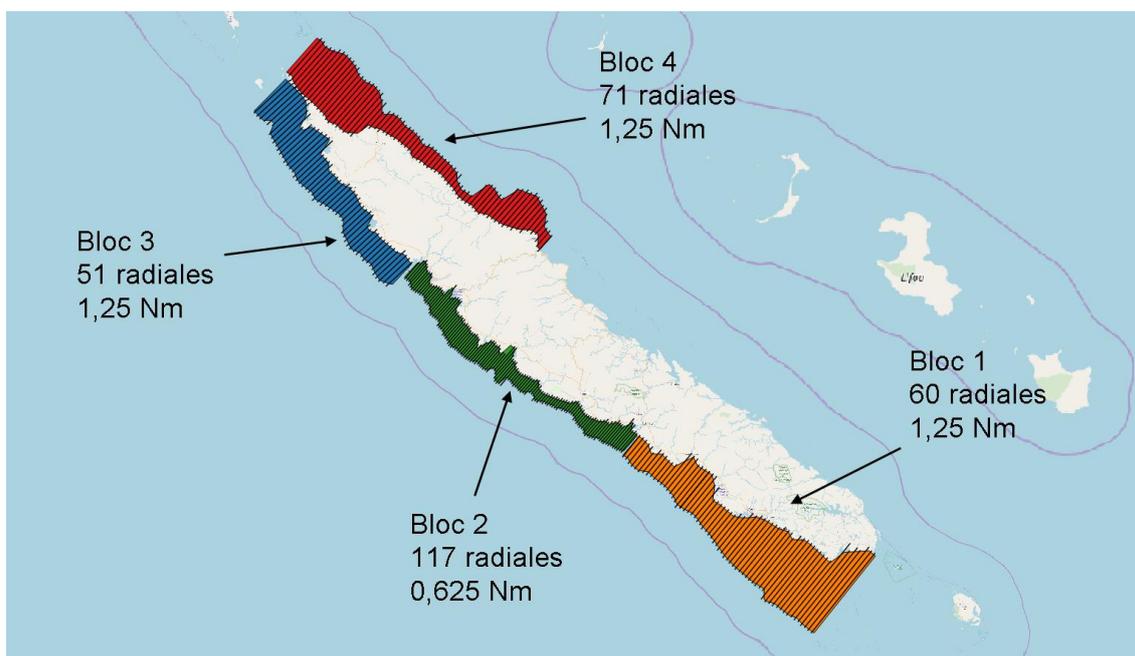


Figure 4: Nombre et espacement des transects par bloc

³ Réunion du 19 octobre 2018



Figure 5: survols réalisés lors de la campagne 2018

NB : Les trous sur certaines transects (exemple : transect n°42, bloc 1) apparaissant sur la carte des survols réalisés (cf. Figure 5) sont dus à la perte de signal du GPS (Garmin Aéro 196 de qualité « grand public ») utilisé par le pilote pour suivre l'alignement des transects. Ce GPS permettait d'enregistrer globalement l'ensemble des déplacements de l'avion (déplacements pour les transits et transects).

La centrale inertielle (SBG Ellipse 2 équipée d'une antenne ANTCOM Omnistar G5 de qualité « professionnelle ») a généré les données GPS des photographies acquises. Les données sont complètes. Les informations GPS de la plateforme inertielle ne sont stockés qu'en synchronicité avec les photos, la centrales inertielle ne permet pas d'enregistrer les déplacements de l'avion hors acquisition photos.

2.1.2. Phase préliminaire

La phase préliminaire fait l'objet d'un rapport descriptif distinct [Roux et Duclos 2018].

Un test d'intégration du système de prise de vue a été réalisé en amont des vols d'acquisition des photographies. Il s'est déroulé du 24 au 26 octobre 2018.

Il avait pour vocation de monter le système de prise de vue, de vérifier la bonne adéquation entre l'avion et les systèmes embarqués et l'adaptation générale de l'ensemble à la production des images : qualité, rythme d'acquisition, détectabilité des dugongs dans les images, adaptation de la stratégie de vol aux conditions locales, coordination avec le pilote, etc.

Il s'est prolongée d'un vol de recherche de dugongs, de 3h20, le 29 octobre 2018 dans l'objectif d'acquérir des images pour adapter l'algorithme aux conditions spécifiques de la mission. Aucune observation de dugong n'a été constatée, visuellement par le hublot et sur les photos.

Le total des heures de vol de cette phase a été de 5h30.

2.1.3. Phase d'acquisition

Cette phase fait l'objet d'un rapport descriptif distinct [Roux et Duclos 2019].

L'acquisition des photographies a été réalisée en 55h05 dont 36h47 sur les transects, réparties sur 15 jours entre le 27 octobre et le 6 décembre 2018 (cf. Figure 5).

L'attitude de vol a pu être modulée en fonction de la hauteur de la couche nuageuse afin de se placer dans les meilleures conditions possibles de prise d'images.

Ces altitudes de vol plus hautes qui engendrent moins de turbulences et augmentent la marge de sécurité en cas de perte de puissance moteur ont permis d'améliorer la sécurité de l'équipe embarquée.

L'avion (Cessna 206) a volé à des altitudes de 1400 pieds (426 m) et 2800 pieds (853 m) définies en rapport avec la focale de l'appareil photo choisie (55 mm à 1400 pieds et 110 mm à 2800 pieds). Une résolution au sol de 4 cm/pixel et une fauchée de 417 m sur une distance de 313 m pour les deux altitudes ont été obtenues. Cette résolution a été choisie car elle permet d'assurer la détectabilité des dugongs par le logiciel d'analyse d'images et par les personnes chargées de la vérification des détections [Hodgson *et al.* 2013]. La faisabilité de changer de focale en vol, additionnée à l'expertise de l'Avion Jaune, a permis une flexibilité d'altitude de vol.

L'acquisition des photos a été réalisée entre 6h00 et 9h30 du matin ou entre 15h30 et 17h (correspondant aux périodes disponibles pour une observation de bonne qualité vis-à-vis des reflets spéculaires et de la luminosité), par temps clair, idéalement légèrement nuageux pour limiter les reflets du soleil sur l'eau.

Un vent de force trois sur l'échelle de Beaufort était posée comme limite supérieure (10 nœuds) pour éviter les mers formées et les « moutons » associés qui rendent les observations ou les détections semi-automatiques difficiles.

Ces conditions ont été systématiquement tenues lors des transects réalisés (cf. Tableau 11). La condition sur la force maximale de vent a notamment interrompu le vol du 16 novembre lorsque le vent est monté à plus de 10 nœuds. Des vents supérieurs à 10 nœuds ont donc été rencontrés sur les vols hors transects le 16

2.1.5. Stockage et prétraitement des photos

Les photos de 80 Mégapixels ont été stockées dans l'appareil dans un format spécifique au fabricant (format IIQ). Ces photos ont été copiées journalièrement sur deux disques durs de sauvegarde et un disque dur dédié aux transferts. Elles ont été envoyées par disque dur depuis la Nouvelle-Calédonie en France pour être converties par l'Avion Jaune dans un format standard JPEG sans perte d'information (profil de qualité à 100%) en utilisant le logiciel fourni par le fabricant. Les informations de géo-positionnement de chaque photo ont été intégrées dans les entêtes (au format EXIF) de chacune des photos JPEG, en utilisant un logiciel mis au point par l'Avion Jaune⁴. Les photos JPEG ont ensuite été transmises à WIPSEA pour l'analyse.

⁴ Thomas Stokart, ingénieur en géomatique, l'Avion Jaune

2.1.6. Vérification de la qualité des photos

A réception des photos JPEG, WIPSEA⁵ a vérifié visuellement la qualité des photos (cf. Tableau 12) en utilisant l'explorateur de fichiers de Windows (option affichage « très grande icône »). Les critères « qualité » suivants ont été vérifiés :

- Luminosité de la photo ;
- Pourcentage de la surface de la photo affectée par la présence de nuages ;
- Pourcentage de la surface de la photo affectée par la présence de reflets sur vaguelettes créées par le vent ;
- Pourcentage de la surface de la photo affectée par la présence d'un reflet spéculaire du soleil sur la mer.

Pour rappel, les spécifications sur ces critères pour la phase d'acquisition étaient les suivantes :

- Luminosité compatible avec une bonne exposition ;
- Présence de nuage sur moins de 25% de la surface de la photo ;
- Présence de reflets sur vaguelettes sur moins de 50% de la surface de la photo ;
- Présence de reflet spéculaire du soleil sur moins de 25% de la surface de la photo.

La très grande majorité des photos (98,3%) sont conformes au niveau de qualité requis par le logiciel de détection semi-automatique des dugongs. 341 photos ont été affectées par des problèmes de qualité liés aux conditions environnementales (cf. Tableau 12 en annexe 7.3 pour le résumé et la colonne « commentaire » du Tableau 24 en annexe 7.8 plus de détails).

133 photos du transect 14 (soit 0,67% du total), prises trop tôt dans la journée, ont une luminosité jugée insuffisante (cf. Figure 6 ci-dessous).

⁵ Gwénaél Duclos, ingénieur en vision par ordinateur, Wipsea



Figure 6: Exemple de la dernière photo (CF038888) jugée trop sombre dans le transect 14 du bloc 1

42 photos (0,21% du total) ont plus de 25% de leur surface affectée par les nuages (transects 1 et 2 du bloc 1 puis 230, 231, 232, 233, 235 du bloc 4), cf. Figure 7 et Figure 8.



Figure 7: Exemple de la photo CF036311 (transect 1, bloc 1) affectée à 25% par la présence de nuages



Figure 8: Exemple de la photo CF036416 (transect 2, bloc 1) affectée à 100% par la présence de nuage

155 photos (0,78% du total) ont plus de 50% de leur surface affectée par des reflets sur les vaguelettes générées par le vent (transects 97, 127, 155 et 177 du bloc 2 puis 214 dans le bloc 3, puis 236 et 238 dans le bloc 4). Ces transects correspondent tous aux derniers survolés de la journée, lorsque le soleil commence à avoir un angle trop important pour limiter les reflets sur les vagues que le vent commence à générer.

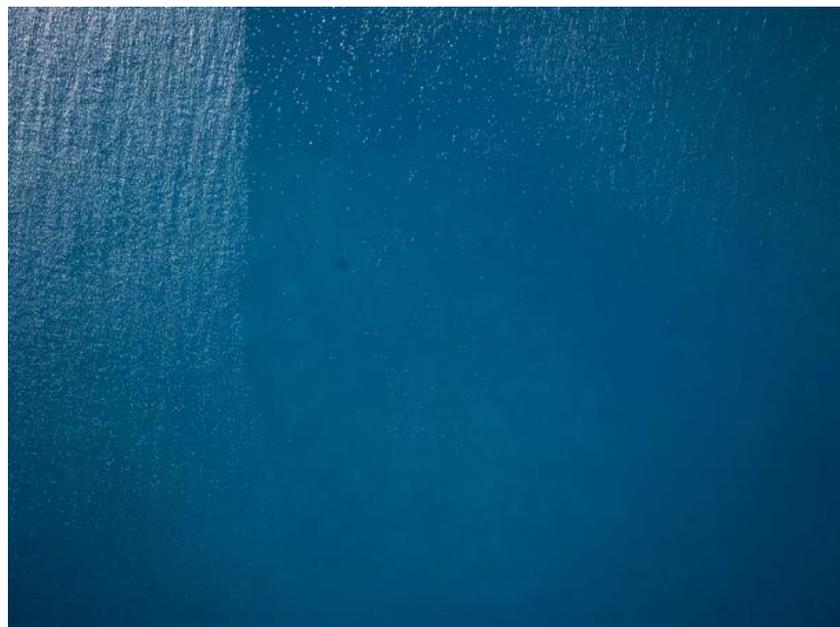


Figure 9: Exemple de la photo CF047482 (transect 177, bloc 2) dont plus de 50% de la surface est affectée par des reflets sur vaguelettes

11 photos (0,06% du total) ont des reflets spéculaires qui affectent plus de 25% de leur surface. Ces 11 photos ont toutes été prises le dernier jour sur 10 des 20 derniers transects du bloc 3 avant que la fenêtre météo ne se referme.



Figure 10: Exemple de la photo CF051832 (transect 259, bloc 4) dont plus de 25% de la surface est affectée par un reflet spéculaire

Les photos trop sombres, les nuages et les reflets spéculaires peuvent empêcher l'algorithme de détecter les dugongs sur la surface affectée, ce qui génère de potentiels détections manquées.

2.2. Méthode d'analyse des photographies

2.2.1. Effort d'observation basé sur l'utilisation d'un réseau de neurones

L'effort d'analyse a été effectué par le logiciel Harmony sur les photographies aériennes de haute définition.

Le logiciel Harmony utilise la méthode de l'apprentissage profond pour détecter les animaux recherchés dans les photographies aériennes qui lui sont proposées. Cette méthode est basée sur un réseau de neurones (modélisation mathématique des neurones du cerveau humain [Le Cun et al. 2015]) dans lequel les scientifiques ont fait passer des millions de photographies en ayant indiqué le nom de son contenu et sa position dans l'image. Toutes ces informations renforcent des neurones qui permettent ensuite au réseau d'appréhender une nouvelle photo et d'indiquer où se trouve un objet, de le nommer, voire de créer des phrases qui décrivent une scène.

La société WIPSEA - spécialisée dans l'analyse d'images pour l'écologie et plus particulièrement la détection de faune sauvage dans des photos ou des vidéos, à l'aide d'algorithmes basés sur l'apprentissage profond, dans un contexte où peu de

données sont disponibles et où les détections représentent une très petite partie de l'image - a fourni la prestation d'analyse des images. Wipsea a développé un réseau de neurones dédié à la détection de la mégafaune marine (principalement des tortues marines) dans le cadre de sa collaboration avec l'Agence française pour la biodiversité et le CEDTM/Kélonia sur le projet SEMMA-DRONE.

Ce réseau de neurones a également été enrichi sur la partie "mammifères marins" via une collaboration avec l'équipe Ecologie Comportementale⁶ du CEFE de Montpellier qui a photographié des cétacés (dauphins, globicéphales, baleines à bosse) depuis un drone en vol stationnaire. La mission était basée sur l'analyse, à l'aide des photographies prises par le drone, des trajectoires d'approche ou d'évitement de zone où des odeurs emprisonnées dans un glaçon étaient libérées progressivement dans l'environnement au fur et à mesure de la fonte de celui-ci, afin d'étudier leur odorat [Bouchard 2017].

La solution logicielle du projet SEMMA-DRONE a été conçue en deux parties distinctes : un logiciel (dénommé « Harmony »⁷) qui contient l'algorithme de détection et dont l'interface sert à la validation par un ou plusieurs utilisateurs des détections proposées par l'algorithme, et un module complémentaire pour le logiciel de cartographie QGIS (dénommé « plugin SEMMA-DRONE⁸ »). Ces deux logiciels sont indépendants mais complémentaires et peuvent dialoguer entre eux.

Généralement, en plus de l'effort d'analyse et de détection mené par le logiciel Harmony, une validation humaine des détections proposées par le logiciel est requis, afin notamment de confirmer l'objet détecté, supprimer les fausses détections, relever celle où un doute humain persiste.

L'algorithme entoure chaque détection qu'il relève ce qui permet d'attirer l'œil de la personne sur les détections à vérifier (figuré par un rond rose dans cette étude). Si une vérification plus poussée est nécessaire, un zoom peut être fait sur la détection. Le vérificateur, par clic de souris, peut : 1 - valider la détection faite par l'algorithme (« dugong certain » figuré par un carré rose dans cette étude) ; 2 - classer dans une autre catégorie (« dugong incertain » figuré par un carré orange) ; 3 - supprimer une fausse détection (« pas dugong » figuré par un carré rouge). Sur chaque photo comportant des détections à valider, il est possible d'ajouter de nouvelles détections lorsque des dugongs non détectés sont repérés à l'œil dans l'image à valider (ajout opportuniste d'observations, cf. Figure 11).

⁶ Aurélie Célerier, Maitre de conférences, Université de Montpellier/CEFE

⁷ Développé par Wipsea en collaboration avec l'Agence française pour la biodiversité et le CEDTM-Kélonia

⁸ Développé par Actimar et Wipsea en collaboration avec l'Agence française pour la biodiversité et CEDTM-Kélonia

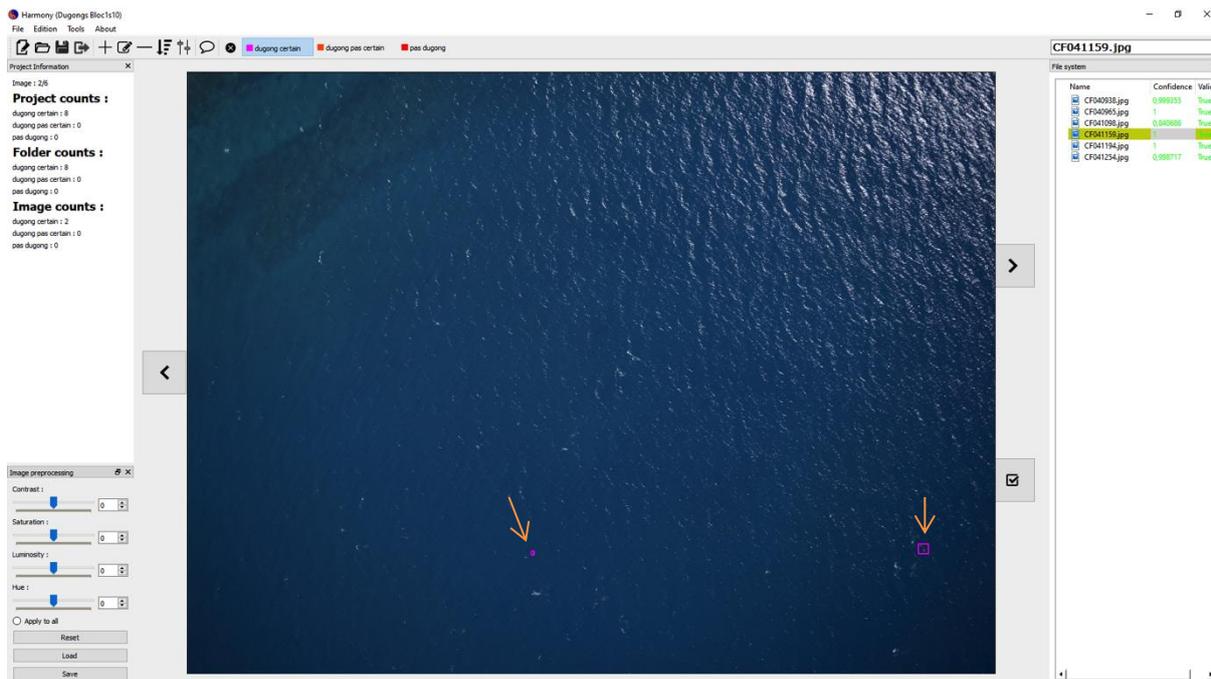


Figure 11: Photo CF041159 prise le 30/10/2018 dans le bloc 1 avec un vent établi à 10 nœuds, le rond entoure une détection automatique de dugong (score de confiance de 0.98), le carré entoure une détection opportuniste de dugong.

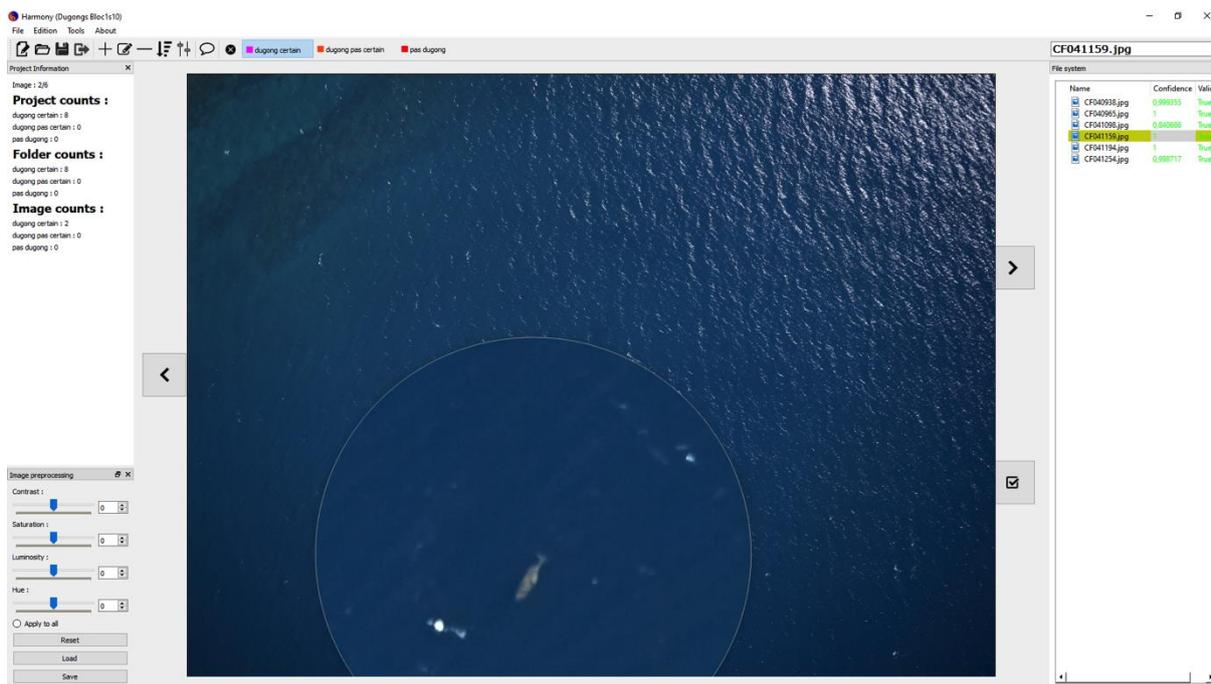


Figure 12: CF041159 : Zoom sur la détection automatique du dugong. Cette détection a été considérée « non certaine » par les vérificateurs, elle sera figurée par un carré orange

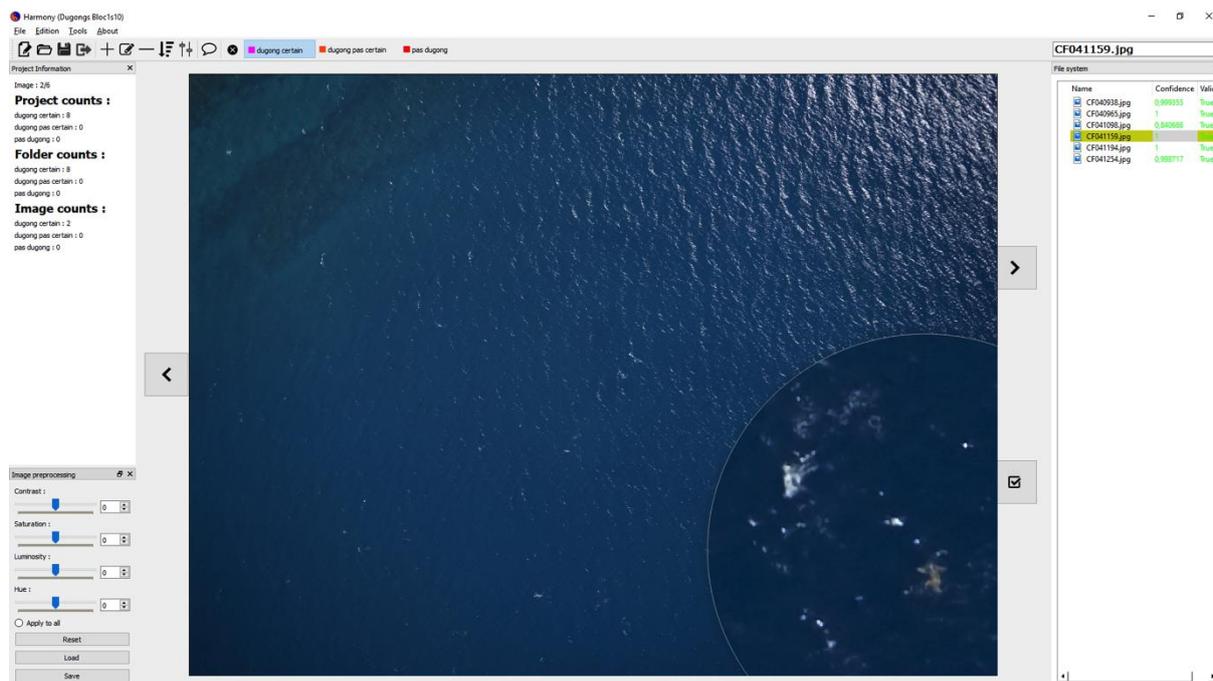


Figure 13: CF041159: Zoom sur la détection opportuniste de dugong.

Cette détection a été considérée « pas dugong » par les vérificateurs (plutôt une tortue), elle sera figurée par un carré rouge

L'algorithme affecte un score de confiance à chaque détection qui est proche de 1 si la détection est considérée comme sûre, c'est à dire proche des échantillons utilisés lors de la phase d'apprentissage.

Une fonctionnalité du logiciel permet de classer les photographies à valider par ordre décroissant du score de confiance le plus élevé. Cette fonctionnalité permet au vérificateur de gagner du temps en ne validant que les photographies qui contiennent des détections avec un score de confiance élevé. Il peut alors s'arrêter au bout d'un certain pourcentage d'images vérifiées (pourcentage défini auparavant sur un ou plusieurs échantillons de référence) ou lorsqu'il juge que les nouvelles photographies n'apportent plus assez de détections par rapport au temps passé à les vérifier (rapport coût/bénéfice).

Une fonctionnalité de seuillage permet, dans le logiciel Harmony, d'afficher à l'écran uniquement les détections dont le score de confiance est supérieur à un seuil configuré (par exemple, un seuil à 50 permet de n'afficher que les détections dont le score est supérieur à 0,5). Cette fonctionnalité permet de diminuer le nombre de détections à valider par le « vérificateur » car les détections dont le score de confiance est inférieur au seuil sélectionné ne sont pas affichées sur la photo et sont automatiquement considérées comme des « fausses détections » par le logiciel. Par exemple, le vérificateur peut décider de ne valider que les détections dont le score est supérieur à 99%, il accepte alors, en connaissance de cause, que toutes les détections avec un score inférieur ne lui seront pas montrées. Ce seuil peut être utilisé pour gagner du temps lors de la phase de vérification lorsque son effet a été étudié auparavant sur un ou plusieurs échantillons de référence.

2.2.2. Principe de l'analyse semi-automatique

Étapes

L'analyse semi-automatique effectuée par le logiciel a reposé sur plusieurs étapes :

1. Détection des dugongs par l'algorithme de détection du logiciel Harmony. A chaque détection est associé par le logiciel un score de confiance qui est proche de 1 plus la détection est considérée comme bonne.
2. Configuration du seuil minimum de confiance afin de ne retenir que les détections données par l'algorithme qui ont un score de confiance supérieur à ce seuil.
Suppression des fausses détections par un vérificateur grâce à l'interface ergonomique du logiciel Harmony qui a été spécifiquement développée dans le but de gagner du temps à cette étape du processus. Pendant cette étape, des ajouts manuels peuvent être effectués par l'utilisateur, pour l'espèce étudiée mais aussi pour d'autres espèces (le score de confiance indiquée par l'algorithme pour un ajout manuel est de 1).
3. Envoi des photos sur lesquelles au moins un dugong a été détecté ou observé visuellement lors de l'étape précédente, à un groupe de vérificateurs afin de confirmer les observations.
4. Géo-référencement des photos sur lesquelles une ou plusieurs détections ont été validées pour projection sur le référentiel WGS84/UTM58S (compatible avec les données fournies par la centrale inertielle) en utilisant les coordonnées GPS (WGS84). L'altitude et les données d'attitude du porteur (roulis, tangage, lacet) ont été fournies par la centrale inertielle de la plateforme de l'Avion Jaune) et le « plugin SEMMA-DRONE » et renseignées dans QGIS (v2.16.3).
5. Récupération par le « plugin SEMMA-DRONE » des détections fournies par le logiciel Harmony et classées par les vérificateurs.
6. Résolution des doublons *via* une vérification visuelle basée sur la position géo-référencée des dugongs retenus, sur les photos successives d'un même transect.
7. Ajout manuel possible d'informations complémentaires : « veau », « incertain », « taille des objets ». Pour information, la longueur de chaque animal est calculée automatiquement à l'aide des positions des extrémités de l'animal détecté.
8. Export des données créées dans un fichier compatible avec MS Excel.
9. Sauvegarde des données du transect dans une couche QGIS pour intégration avec les autres transects du même bloc.

Apprentissage profond avec les détections de dugongs trouvés visuellement

Il était prévu initialement d'enrichir le réseau de neurones avec des photographies de dugongs obtenues en Nouvelle-Calédonie lors de la phase d'intégration du système de photogrammétrie dans l'avion. Mais les heures de survol d'une zone normalement propice à la présence de dugongs n'ont pas permis d'obtenir des photographies de dugongs et de faire ce travail. Ce vol a été réalisé à une altitude de 1400 m et l'opérateur de la caméra a cherché à voir des dugongs par

le « hublot bulle ». Les observations relevées se sont avérées ne pas être des dugongs lors de la phase d'analyse visuelle des photographies.

La solution alternative adoptée a été de procéder à un tri visuel de toutes les photographies acquises pendant la phase d'acquisition.

Ces détections visuelles sont possibles car la résolution au sol a été choisie à 4 cm/pixel [Hodgson *et al.* 2013]. Les dugongs d'une longueur moyenne de 2,5 m font alors une soixantaine de pixels de long et une quinzaine de pixels de large.

Lors de l'analyse visuelle sur les photos entières, une sélection a été faite en deux catégories : les photos présentant des zones potentielles d'herbier (zone verte), considérées comme habitat favorable pour ces animaux et les photos hors de ces zones nécessitant une observation plus poussée.

Les photographies de 80 mégapixels (10328 x 7760 pixels) sélectionnées ont été découpées en 25 images de 3,2 mégapixels (2065x1552) afin d'assurer la détection des dugongs sur un écran LCD 24 pouces (configuré en affichage 1920x1080) sans avoir à faire appel à un zoom.

Une centaine d'heures (cf. Tableau 1) a été consacrée à la sélection puis à l'analyse visuelle pour y rechercher la présence de dugongs. Ce travail a été réalisé par Wipsea⁹.

Cette phase de recherche visuelle a permis de retenir 93 détections de dugongs soumises à validation de « vérificateurs ». 33 observations ont été classées comme étant des « dugongs certains », 6 observations ont été considérées comme des « dugongs incertains », le reste des observations ont été considérées comme n'étant pas des dugongs (cf. Tableau 13 en annexe 0).

La classification des 93 observations a été menée collectivement par quatre « vérificateurs »¹⁰ mobilisés volontairement sur cette phase (2h consacrées).

C'est sur la base de ces détections visuelles validées que l'entraînement du logiciel s'est effectué. Les détections (hors zone de référence) ont servi à alimenter l'entraînement. Les détections de la zone de référence n'ont pas été utilisées pour alimenter le réseau de neurones mais ont servi à vérifier, après entraînement, les performances de l'algorithme et la bonne adaptation aux conditions du projet. L'entraînement permet également au logiciel de s'adapter aux conditions de prise de vue ainsi qu'aux différents types de fonds marins de la Nouvelle-Calédonie (sable avec récifs ou herbiers, récifs, eaux turbides ou grand bleu, cf. Tableau 13 en annexe 0).

⁹ Clément Aubert, étudiant-écologue en apprentissage, Wipsea (non spécialiste des dugongs)

¹⁰ Olivier CHATEAU : Docteur en Écologie et biologie marine, responsable du département scientifique et pédagogique, Aquarium des lagons,

- Marion MASTROMAURO-AUPLAT : stagiaire Aquarium des lagons/Université de la Nouvelle-Calédonie,

- Thomas AUGER : chargé de mission milieu marin, Conservation International, Observateur sur la campagne REMMOA en 2014,

- Laure LUNEAU : coordinatrice du Plan d'actions dugong, Conservatoire d'espaces naturels de Nouvelle-Calédonie.

Bloc	Nb Photos jpeg	Nb heures tri habitat favorable et photos à regarder de plus près	Nb photos habitat favorable regardées	Nb photos hors habitat favorable regardées	Nb heures analyse visuelle plus poussée (sur photos découpées)
1	6271	20	691	79	27
2	4694	16	262	150	23
3 et 6	4418	16,75	20	43	2,75
4	4603	15,25	42	51	2,75
Total	19986	68	1015	323	55,5

Tableau 1: Effort d'analyse visuelle des photographies pour alimenter la phase d'apprentissage du logiciel

Méthodologie du test de fonctionnement du logiciel sur une zone de référence (2 transects)

Le logiciel Harmony affecte un score de confiance pour chaque détection comprise entre 0 et 1 (la valeur 1 peut être attribuée par l'algorithme mais cela arrive très rarement). Ce score correspond à la confiance que le logiciel a dans la détection qu'il a réalisée. Plus le score de confiance est élevé (proche de 1), plus le logiciel considère que la détection d'un dugong est sûre (c'est-à-dire qu'elle ressemble aux dugongs qui ont été utilisés pendant la phase d'entraînement).

Un test de fonctionnement du logiciel a été mené sur une zone de référence afin de :

- s'assurer du succès de l'entraînement réalisé ;
- évaluer le taux de détection de l'algorithme suite à l'entraînement, connaître les proportions de dugongs détectés et de faux positifs générés par l'algorithme ;
- déterminer la stratégie d'analyse de l'ensemble des 19 986 images et estimer le nombre de photographies à valider pour obtenir un taux de détection final acceptable (supérieur à 80%, taux d'observation communément admis lors des campagnes avec observateurs embarqués) ;

La zone de référence a été définie sur la base des observations visuelles réalisées par Wipsea. Elle est constituée d'un échantillon d'une centaine de photos qui se suivent chronologiquement (cf. Figure 14), correspondant aux photos CF044587 à CF044682 des transects 120 et 121 du bloc 2, pour lesquels la présence de dugong a été relevée.

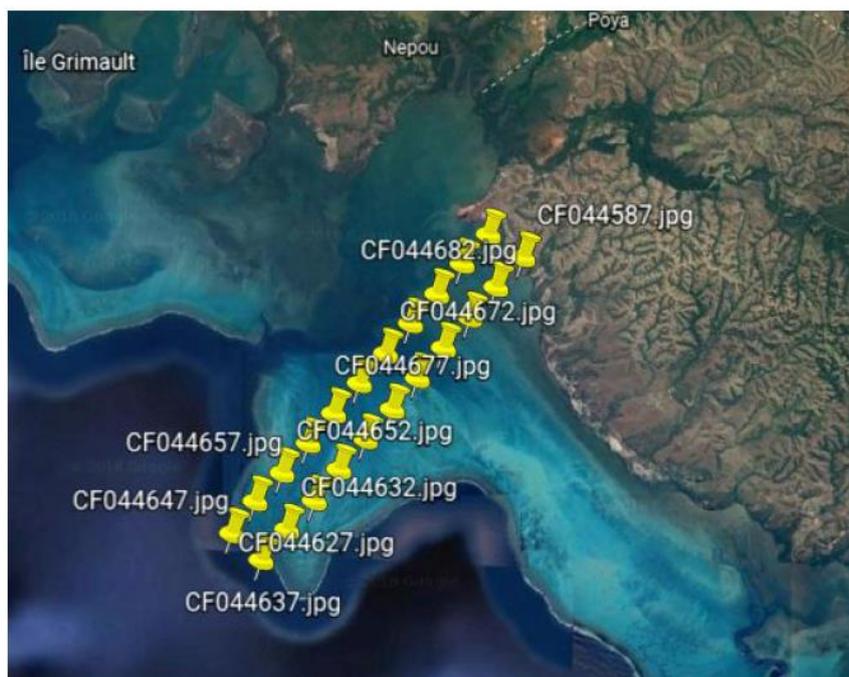


Figure 14: Position géographique de la zone de référence

Au moment des tests de fonctionnement du logiciel, quatorze dugongs ont été détectés visuellement, au préalable, par Wipsea¹¹ sur la zone de référence, présentant une diversité de fonds marins (cf. Figure 15).

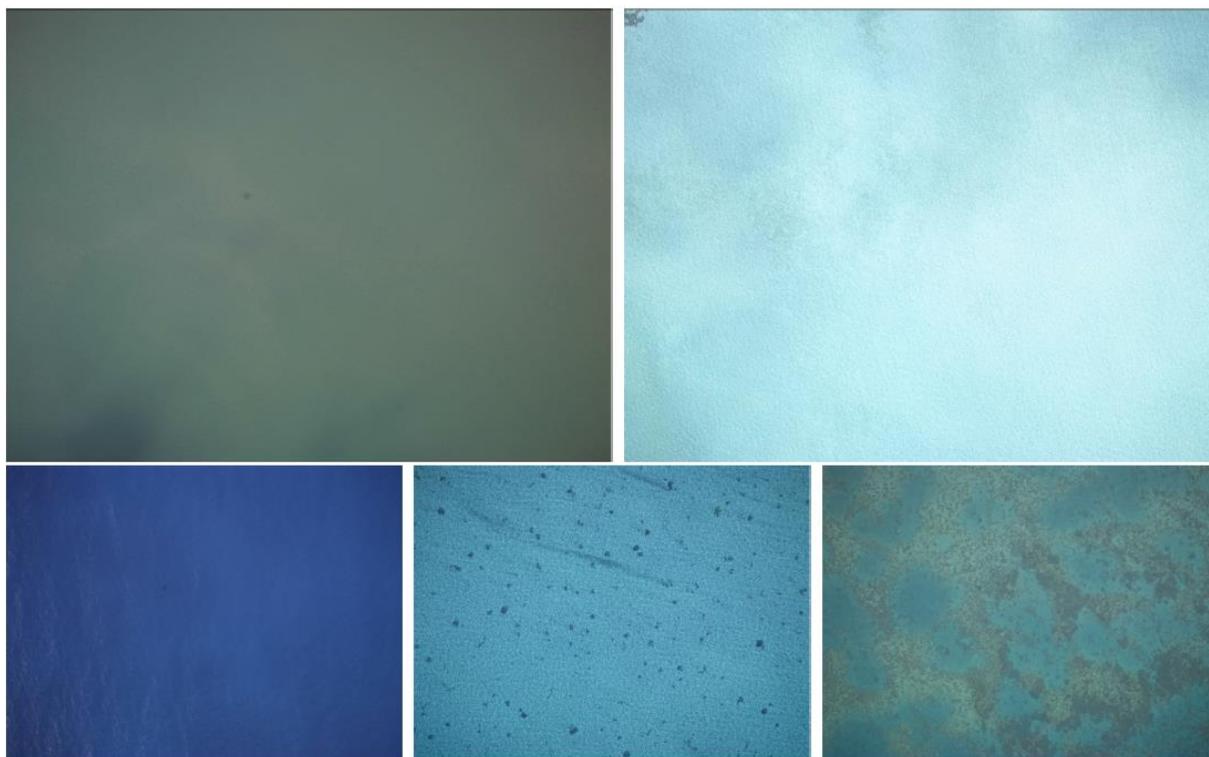


Figure 15: Représentation de la diversité des fonds marins dans la zone de référence

¹¹ Romain Dambreville, ingénieur-chercheur en analyse d'images, Wipsea (non spécialiste des dugongs)

Résultats du test de fonctionnement du logiciel sur une zone de référence

L'analyse de l'échantillon de 110 photos de la zone de référence par le logiciel Harmony donne les résultats suivants (cf. Tableau 2):

- en sélectionnant l'ensemble des détections dont le score de confiance donné par le logiciel est strictement supérieur à 0 (entre 0 et 1 exclus), 14 dugongs sont détectés dans 8 photos et 3306 fausses détections sont affichées.
- en sélectionnant l'ensemble des détections dont le score de confiance donné par le logiciel est d'au moins 0.5 (entre 0.5 et 1 exclu), les 14 dugongs sont également détectés et 1740 fausses détections sont affichées.
- en sélectionnant l'ensemble des détections dont le score de confiance donné par le logiciel est d'au moins 0.9 (entre 0.9 et 1 exclu), 11 dugongs sur les 14 sont détectés et 953 fausses détections sont affichées.
- en sélectionnant l'ensemble des détections dont le score de confiance donné par le logiciel est d'au moins 0.99 (entre 0.99 et 1 exclu), 11 dugongs sur les 14 sont détectés et 431 fausses détections sont affichées.

Seuil	Bonnes détections	Faux
0	14	3306
0.50	14	1740
0.90	11	953
0.99	11	431

Tableau 2: Tableau des premiers résultats de détection du logiciel Harmony sur la zone de référence

Le test a permis de constater également que :

- les 11 premiers dugongs détectés sur les deux transects sont présents dans les 6 premières photos (classées par score de confiance décroissant donné par le logiciel). Soit 78,5% de dugongs détectés sur 5,45 % des photos de l'échantillon.
- les dugongs suivants se trouvent dans la photo classée 18^{ème} (par score de confiance décroissant). 92,3% des dugongs (13/14) sont détectés par les 18 premières photos (soit 16,36% des photos de l'échantillon).
- le dernier dugong est présent dans la photo classée 65^{ème} (par score de confiance décroissant). Au moment du test, il a fallu vérifier 60% des photos de l'échantillon pour obtenir les 14 dugongs.

Le test a permis de mettre en évidence :

- un succès de détection de l'ensemble des dugongs identifiés visuellement ;
- une possibilité de compromis pour le traitement à large échelle, qui est de se limiter à la vérification d'un pourcentage réduit de photos - rapport coût/bénéfice entre le temps passé à vérifier les détections et le nombre de

détections obtenues. Sur ce test, 16% est le pourcentage de photos admis pertinent pour un bon rapport coût/bénéfice.

- un nombre de fausses détections trop important pour permettre d'envisager un retraitement manuel de l'ensemble des photos présentant des fausses détections.

Sur la base de ce constat et du test :

- la stratégie de validation des photographies par ordre décroissant du score de confiance donné par l'algorithme a été retenue par les commanditaires¹². Elle se base sur l'utilisation de la capacité de l'ordinateur à donner un score de confiance pour limiter la vérification humaine à un pourcentage de photo couvrant un taux de détection final acceptable (supérieur à 80%).
- et il a été décidé d'essayer d'améliorer l'algorithme pour diminuer le nombre de fausses détections.

Un nouvel apprentissage a été effectué en ajoutant des informations sur 800 faux positifs pris dans 50 photos des blocs 1, 3 et 4, et 192 vrais positifs provenant de 29 photos prises en Australie¹³. Ce procédé a permis de diminuer fortement le nombre de fausses détections. Avec un seuil à 0 (sur le score de confiance), seules 425 fausses détections (au lieu de 3306 précédemment) sont affichées sur l'ensemble des 110 photos de la zone test.

En parallèle, les observations de dugongs dans la zone de référence ont été vérifiées par les « vérificateurs » mobilisés auprès du CEN. 18 dugongs ont été relevés au lieu de 14, la nouvelle vérité terrain est donc basée sur 18 dugongs.

Sur cette base, les résultats du test après réapprentissage sont :

- 72,2% des dugongs (13/18) sont détectés par les 11 premières photos de l'échantillon de 110 photos, classées par score de confiance décroissant, soit 10 % des photos de l'échantillon.
- 94,4% des dugongs (17/18) sont détectés par les 16 premières photos de l'échantillon de 110 photos, classées par score de confiance décroissant, soit 15 % des photos de l'échantillon.

Sur la base des tests, a été fixé à 15%, le pourcentage de photos dont les détections proposées sont à vérifier visuellement (rangées dans l'ordre décroissant du score de confiance), sur les 19 986 photos acquises.

Analyse des résultats du test de fonctionnement

Pour alimenter l'entraînement, 16 dugongs du bloc 2 ont été utilisés (cf. Tableau 14 en annexe 0). Le dugong 44801.1 a été jugé trop « incertain » pour être intégré au jeu de données, ce qui peut expliquer qu'il n'ait pas été détecté par le logiciel.

¹² Réunion d'avancement du 12 février 2019

¹³ Seules 29 photos prises par Amanda Hodgson en 2010 dont le droit d'utilisation avait pu être obtenu ont pu être utilisées

Après test, 15 détections ont été relevés sur la zone de référence (entre 44588.1 et 44692.1) : huit dugongs (44588.1, 44589.1, 44687.1, 44687.2, 44690.1, 44691.1, 44691.3 et 44692.1) ont été détectés automatiquement par l'algorithme (vrais positifs) ; sept dugongs (44588.2, 44589.2, 2 dans 44690.2, 44690.3, 44691.2 et 44691.3) ont été détectés manuellement par Wipsea (indirectement par l'analyse visuelle de l'image proposée par l'algorithme) parmi les 15% des photos du sous-bloc qui avaient les meilleurs scores de détection ; un dugong (44690.4) a été ajouté manuellement lors de la phase d'import et de détection des doublons dans QGIS ; trois dugongs ont été manqués (44687.3, 44688.1, et 44689.1).

Après vérification par les vérificateurs des détections issues du test, 17 détections ont été relevés : deux dugongs ont été ajoutés manuellement (44687.3 et 44688.1). Pour le dugong de la photo 44689.1 manqué, un ajout manuel ne pouvait pas être possible car cette photo ne faisait pas partie des 15% des photos à vérifier, la détection (1 faux négatif) qui était sur cette photo avait un score trop faible (0,18) pour que cette photo soit classée en haut de la pile dans ce sous-bloc.

Les classements des détections par les vérificateurs ont varié au cours de l'étude entre la phase d'entraînement et la phase d'analyse (résultats finaux) : un dugong est passé du statut d' « incertain » à « certain » (44893.1), six sont passés de « certain » à « incertain » (44687.1, 46622.1, 46880.1, 47314.1, 2 dans 49893.1), deux de « certain » à « pas dugong » (36545.1, 39458.1), trois d' « incertain » à « pas dugong » (44691.3, 44687.3, 44688.1) ; deux de « pas dugong » à « certain » (47380.1, 47418.1). Parmi ceux utilisés pour l'entraînement, aucun n'est passé dans le statut « pas dugong », ce qui signifie que l'entraînement n'a pas été biaisé.

En phase d'analyse, sur les 16 dugongs ayant été utilisés pour l'entraînement :

- une détection classée initialement en dugong (39458.1) n'a pas été détectée par le logiciel, elle a toutefois été déclassée en « non dugong » pour les résultats finaux ;
- un dugong (50370.1) avait été détecté par le logiciel mais a été supprimé lors de l'application du seuillage car le score de confiance qui lui avait été affecté était de 0,15 alors que le seuil a été placé à 69 sur le sous-bloc 4s5 (1 faux négatif).

NB : Les vraies négatives correspondent à toutes les positions dans l'image que l'algorithme teste pour trouver les objets d'intérêt, les vraies négatives sont innombrables dans le cas d'un algorithme basé sur de l'apprentissage profond pour effectuer la détection et la classification des objets.

2.2.3. Méthode de validation des détections automatisées

Pour l'analyse de l'ensemble des photographies par le logiciel Harmony, 42 « sous-blocs » d'environ 500 photos ont été créés pour segmenter le travail.

Le taux de 15% est donc atteint en vérifiant visuellement les 75 premières photos de chacun des sous-blocs. Ces premières vérifications et suppressions de fausses détections ont été menées par l'équipe de WIPSEA¹⁴ (37h). Elles ont permis de générer des projets dédiés à la vérification avec la version allégée du

¹⁴ Gwénaél Duclos pour les blocs 1 et 2, Clément Aubert pour le bloc 3 et Romain Dambreville pour le bloc 4.

logiciel Harmony : 281 photographies avec des détections de dugongs à vérifier ont été transmises au CEN (cf. Tableau 3). Les photos non transmises contenaient uniquement des fausses détections, principalement des vagues et des morceaux de récif.

Huit « vérificateurs »¹⁵ se sont mobilisés pour déterminer le statut final de chacune des détections qui ont été classées en trois catégories : “dugong certain” / ”dugong incertain” / ”pas dugong”. Le CEN a passé en revue l’ensemble des photos transmises avec la version allégée du logiciel Harmony fournie puis a transmis aux « vérificateurs » les photos pour lesquelles les détections nécessitaient d’autres avis. Les personnes mobilisées ont regardé individuellement tout ou partie des photos transmises en fonction de leur disponibilité. Pour les détections ayant fait l’objet de plusieurs avis, l’avis retenu était celui émis par la majorité (cf. * Pour les analyses avec R, les valeurs sont mises à jour avec les valeurs de la colonne « nb dugongs certains validés »).

Tableau 16 à Tableau 20 en annexe n°0).

N° bloc	Nombre de sous blocs*	Nombre total de photos vérifiées par Wipsea	Nombre de photos visionnées par les vérificateurs	Nombre de détections classées par les vérificateurs**
1	13	975	103	115
2	10	750	94	171
3 et 6 survolés en continuité	9	675	56	75
4	10	750	32	34
Total	42	3150	285	395

Tableau 3: efforts et résultats de vérification par les "vérificateurs"

* correspondant aux projets dédiés à la vérification avec la version allégée du logiciel Harmony (fichier .json)

** doublon et détections ajoutées par les « vérificateurs » comprises

¹⁵ Olivier CHATEAU : Docteur en Écologie et biologie marine, responsable du département scientifique et pédagogique, Aquarium des lagons,

- Marion MASTROMAURO-AUPLAT : stagiaire Aquarium des lagons/Université de la Nouvelle-Calédonie,

- Thomas AUGER : chargé de mission milieu marin, Conservation International,

- Jean-Jérôme CASSAN : chef de service adjoint, service impact environnemental et conservation, direction du développement économique et de l'environnement, province Nord,

- Marie-Louise DABOME : référent dugong, brigade des gardes-nature secteur centre, direction du développement économique et de l'environnement, province Nord,

- Vanessa TCHOEAOUA : référent dugong, brigade des gardes-nature secteur sud, direction du développement économique et de l'environnement, province Nord,

- Christophe HATJOPOULOS : référent dugong, brigade des gardes-nature secteur nord, direction du développement économique et de l'environnement, province Nord,

- Laure LUNEAU : coordinatrice du Plan d’actions dugong Nouvelle-Calédonie, Conservatoire d’espaces naturels de Nouvelle-Calédonie.

2.3. Méthode de traitement et de restitution des données extraites des photographies

2.3.1. Récupération des détections, résolution des doublons et export des données

Toutes les photos contenant des dugongs ont ensuite été traitées avec le « plugin SEMMA-DRONE » (v1.4.1) pour QGIS (v2.16.3) afin de les projeter et les géo-référencer grâce aux informations de géo-positionnement de chaque photo (cf. cf. Figure 15), intégrées dans les en-têtes (au format EXIF).



Figure 16: Illustration (sous Google Maps) du géo-positionnement des photos acquises en échantillonnant le bloc 1

Puis les détections ont été rapatriées depuis le logiciel Harmony afin de construire un projet QGIS pour chacun des blocs avec l'ensemble des détections géo-localisées.

Les projets QGIS contiennent notamment, les informations suivantes: position GPS du centre du dugong (balise "C" pour « Center » placée au centre de la détection), nombre d'individu, nombre de veau, espèce, taille de l'individu déterminée automatiquement par les balises "B" (pour « Begin », balise placée à une des extrémités de la détection) et "E" (pour « End », balise placée à l'autre extrémité de la détection) qui ont été exportées dans des fichiers de type tableur.

Résolution des doublons

Le nombre de doublons étant limité à une dizaine d'individus sur l'ensemble de la mission, les doublons ont été résolus manuellement lors de la génération des cartes de distribution. Il s'agit de vérifier, dans deux photos successives contenant des dugongs, si les positions respectives de deux individus peuvent correspondre ou être expliquées par un déplacement possible. L'algorithme de résolution automatique des doublons, mis au point lors du projet SEMMA-DRONE, est basé sur la comparaison des positions relatives des animaux entre eux dans une même photo et la position relative qu'ils ont dans la photo suivante. Cet algorithme n'a pas été utilisé lors de cette étude car il nécessite beaucoup de calculs pour chaque photo. Wipsea a jugé que le rapport gain de temps / temps de calculs n'était pas favorable avec un nombre si faible de doublons.

2.3.2. Génération des cartes de distribution

Ces projets QGIS ont permis de créer une couche sur laquelle apparaissent toutes les détections validées du bloc ("dugongs certains" + "dugongs incertains"). Cette couche a été sauvegardée et importée dans un nouveau projet dédié à la création de la carte de distribution. Un style de type "carte de chaleur"¹⁶ (visualisation d'une densité de points sur une carte à l'aide d'un dégradé de couleur) a été utilisé pour faire ressortir en rouge les zones de plus forte présence. Les couches des terres émergées¹⁷ et des récifs de Nouvelle-Calédonie^{18 19 20}, téléchargées sur le site internet Georep²¹ ont été utilisés comme fonds de carte.

¹⁶ <https://www.qgis.org/fr/site/forusers/visualchangelog28/index.html#feature-live-heatmap-renderer>

¹⁷ « Donnée Compilation Terres Emergées » : compilation de cartographies des terres émergées et des récifs situés dans la Zone Economique Exclusive de Nouvelle-Calédonie réalisée d'après les cartes nautiques du SHOM, la BD Topo de la DITTT et des compléments vectorisés sur des images satellites LANDSAT et SPOT. Révision 2015-03. Licence Créative Commons : Attribution – Pas de modification – Pas d'utilisation commerciale. Mention obligatoire : Ne pas utiliser pour la navigation. Le SHOM ne peut être tenu pour responsable des résultats publiés dans cette étude.

¹⁸ « DONNEE_Classification géomorphologique des récifs de la Nouvelle-Calédonie » : classification typologique des récifs de la Nouvelle-Calédonie. Publiée le 04/11/2015. Licence Créative Commons : Attribution – Pas de modification – Pas d'utilisation commerciale 3.0 France.

¹⁹ Andréfouët S, Muller-Karger FE, Robinson JA, Kranenburg CJ, Torres-Pulliza D, Spraggins SA, Murch B (2006) Global assessment of modern coral reef extent and diversity for regional science and management applications: a view from space. 10th Int. Coral Reef Symposium 1: 1732-1745.

²⁰ Andréfouët S., Torres-Pulliza D, 2004, Atlas des récifs coralliens de Nouvelle-Calédonie, IFRECOR Nouvelle-Calédonie, IRD, Nouméa, Avril 2004, 26 p + 22 planches.

²¹ https://explorateur-carto.georep.nc/explo-carto/?app_carto=plateformeDL.

Détermination de la surface échantillonnée par bloc

Les étapes suivantes ont permises d'évaluer la surface échantillonnée par bloc :

1. Export des coordonnées GPS de chaque photo dans un fichier kml par un script Python développé par WIPSEA,
2. Génération d'une couche SIG contenant les coordonnées GPS du centre de chaque photo à partir du fichier kml (« drag and drop » du fichier kml dans QGIS),
3. A partir de la couche « Axes Dugongs NC 2018 Avion Jaune », création de la couche ne contenant que les axes du bloc en cours de traitement en éditant la table attributaire, en sélectionnant les entrées dont le numéro de bloc correspondant au bloc en cours de traitement, en inversant la sélection, en supprimant les entrées sélectionnées et en sauvegardant cette nouvelle couche en lui ajoutant le numéro de bloc.
4. A partir de la couche des axes du bloc en cours de traitement, utilisation de l'outil « distance tampon fixe » pour créer un tampon de 350m autour de chaque axe.
5. Utilisation de l'outil « Intersection » (section « outils de recouvrement de vecteur(s) » dans la fenêtre « Géotraitement QGIS ») entre la couche « tampon 350m » et la couche des positions GPS du centre de chaque photo afin d'ajouter le numéro de transect et le numéro de bloc dans la table attributaire dans positions GPS des photos.
6. Génération d'un chemin à l'aide de l'outil « Points vers lignes » (section « outils de création de vecteur(s) » dans la fenêtre « Géotraitement QGIS », sélectionner « id » en tant que « champ de regroupement » et « Name » en tant que champ de tri)
7. Génération d'un buffer de 215m autour du chemin à l'aide de l'outil « distance tampon fixe ».
8. Ajouter le numéro de bloc dans la couche tampon générée à l'étape précédente en éditant la table attributaire et en ajoutant un champ « bloc » puis en ouvrant la calculatrice de champs et en choisissant le champ « bloc » et en sélectionnant « mise à jour d'un champ existant » en indiquant le numéro du bloc concerné
9. Ajouter dans la même couche, un champ « surface » en choisissant le type « Nombre décimal (réel) » puis en sélectionnant « Géométrie »/ « @area ».
10. Sortir du mode édition de la couche tampon puis sélectionner « enregistrer sous »/ « Tableau MS Office Open XML »
11. Le fichier généré peut maintenant être ouvert dans Excel ou tout tableur compatible (cf. Tableau 21 à Tableau 24 en annexe n°7.7).

2.4. Résultats bruts

L'échantillonnage a représenté 19 986 photos haute définition, soit une moyenne de 64 vues par transects.

2.4.1. Observations des dugongs par bloc

Lors de la campagne 2018 :

- 100% des photos de l'échantillon acquis ont été analysées par le logiciel Harmony
- 15% des photos analysées ont été vérifiées par Wipsea soit environ 3 000 photos ;
- 281 photos ont été vérifiées par des « vérificateurs ». Les photos non transmises contenaient uniquement des fausses détections vérifiées par Wipsea.

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous (cf. Tableau 4) et un tableau plus détaillé est proposé en annexe 0 (cf. Tableau 20).

Soixante-dix-neuf dugongs ont été dénombrés et 33 détections ont été considérées comme "dugongs incertains".

N° bloc	Nombre de sous blocs	Nombre de photos vérifiées par le commanditaire	Nombre de détections classées par le commanditaire *	Nombre de dugong certain	Nombre de doublons de dugong certain	Nombre de dugong incertain	Nombre de doublons de dugong incertain
1	13	103	115	5	2	4	0
2	10	94	171	72	18	23	3
3	8	45	62	0	0	0	0
4	10	32	34	2	0	4	0
6	1	11	13	0	0	2	1
Total	42	285	395	79	20	33	4

* doublon et détections ajoutées par les « vérificateurs » comprises

Tableau 4: Résultats des validations et classifications menées par le commanditaire sur les détections proposées par Wipsea après nettoyage des fausses détections

La distribution des dugongs est principalement observée dans le bloc 2 (72 dugongs considérés "certains" et 23 dugongs considérés "incertains") et dans une moindre mesure dans le bloc 1 (cinq dugongs considérés "certains" et quatre dugongs considérés "incertains"). Deux dugongs considérés "certains" et quatre dugongs considérés "incertains" ont été détectés dans le bloc 4. Deux dugongs considérés « incertains » ont été détectés dans le bloc 6. Aucune détection n'a été considérée comme dugong certain ou incertain dans le bloc 3.

Les cartes de distribution sont présentées en annexes (cf. annexe n°7.9).

20 doublons de dugongs considérés comme « certains » et 4 doublons de dugongs considérés comme « incertains » ont pu être relevés en comparant les positions respectives des dugongs à l'aide du « plugin SEMMA-DRONE » pour QGIS. Ces détections ont été décomptées des résultats.

Sur les 99 dugongs « certains » et leurs doublons, 42 ont été détectés par l'algorithme et 57 ont été ajoutés manuellement lors de la vérification des détections. Sur les 37 dugongs « incertains » et leurs doublons, 23 (58%) ont été détectés par l'algorithme et 14 ont été ajoutés manuellement.

71 ajouts manuels ont été effectués dans 19 photos : 16 photos dans le bloc 2, une photo dans le bloc 6 et deux photos dans le bloc 4 (cf. Tableau 21 à * Dugong détecté mais filtré lors de l'application du seuil à 69.

Tableau 23 en annexe n°7.7).

La répartition est la suivante : 33 ajouts manuels ont été effectués sur la photo CF044270 (bloc 2), six sur les photos CF043286 (bloc 2), CF043341 (bloc 2) et CF044271 (bloc 2), quatre pour la photo CF044690 (bloc 2), deux pour les photos CF047418 (bloc 2) et CF044691 (bloc 2) et un ajout dans 12 photos (CF052439 (bloc 6) ; CF050370, CF049893 (bloc 4) ; CF044571, CF044588, CF044589, CF044689, CF044801, CF045262, CF045831, CF047263, CF047264 (bloc 2)).

Le score de confiance donné par l'algorithme est basé sur la similarité des dugongs détectés avec ceux observés par le réseau de neurones lors de la phase d'apprentissage. Ce score n'a pas été basé sur la notion de « certain » / « incertain » donnée par les vérificateurs, il ne correspond donc pas à cette notion comme le montre le Tableau 5 dans lequel on peut noter qu'un dugong considéré comme « certain » par les vérificateurs a un score de 0,129343 alors qu'un dugong considéré comme « incertain » a un score de 0,56721.

Bloc	Détection considérées « Certaines »		Détection considérés « Incertaines »	
	Min.	Max.	Min.	Max.
1	0.840686	0.998717	0.56721	0.99893
2	0.129343	0.999819	0.881309	0.999767
6	NA	NA	0.580206	0.62093
4	0.691563	0.691563	0.92823	0.999372

Tableau 5: Tableau des intervalles des scores de confiances donnés par le logiciel Harmony sur les détections automatiques

2.4.2. Observations opportunistes

Lors de la phase d'observation d'analyse visuelle des photographies pour rechercher les premiers dugongs et lors des phases de vérification des détections, des observations d'autres espèces ont été relevées de manière opportune, elles ne font pas l'objet de comptage.

3. ABONDANCE RELATIVE

3.1. Méthode de calcul de l'abondance relative

3.1.1. Paramètres environnementaux

La valeur de l'estimation de la probabilité de disponibilité ("availability probability estimates") [Pollock et al. 2006] a été associée par Wipsea²² pour chacun des dugongs certains et incertains, conformément aux recommandations de la thèse [Cleguer 2015, page 169, tableau A.2] (cf. Tableau 15 en annexe n°0. Ces paramètres sont consultables dans la colonne « availability proba » des * Pour les analyses avec R, les valeurs sont mises à jour avec les valeurs de la colonne « nb dugongs certains validés ».

Tableau 16 à * Pour les analyses avec R, les valeurs sont mises à jour avec les valeurs de la colonne « nb dugongs certains validés ».

Tableau 18 en annexe n°0 et Tableau 21 à Tableau 24* Dugong détecté mais filtré lors de l'application du seuil à 69.

Tableau 23 en Annexe n°7.7).

3.1.2. Calcul de l'abondance relative

Le traitement des données a été effectué en suivant les travaux de la thèse [Cleguer 2015], et en utilisant l'estimateur d'Horvitz-Thompson [Horvitz & Thompson 1952] pour l'estimation d'abondance des dugongs.

Ce calcul utilise l'hypothèse selon laquelle chaque bloc est homogène, ce qui signifie qu'à l'intérieur d'un bloc, aucune zone n'a, a priori, une densité attendue de dugongs différente des autres zones. Les blocs peuvent, en revanche, être hétérogènes entre eux.

Une probabilité d'inclusion supplémentaire a été ajoutée prenant en compte le score de confiance donné pour chaque détection par le logiciel Harmony, selon les formules²³ ci-dessous

E : ensemble des individus de la population étudiée (qui est ici finie).

i, j : identifiants d'individus de E ;

P_i : probabilité d'inclusion de l'individu i

(s) : probabilité d'obtenir l'échantillon particulier s

S : ensemble des échantillons possibles

s : un échantillon particulier obtenu après la procédure d'échantillonnage

²² Clément Aubert, étudiant-écologue en apprentissage, Wipsea (non spécialiste des dugongs)

²³ Sous expertise de Gilles Le Moguedec de l'UMR AMAP

1) Calcul des probabilités d'inclusion par bloc et par transect

La probabilité d'inclusion au niveau de chaque transect est calculée à partir de la surface du transect rapportée à la surface du bloc auquel il appartient:

$$P_i = \sum_{s \ni i} p(s)$$

2) Calcul des probabilités de détection de chaque groupe de Dugongs

La probabilité d'inclusion au niveau de chaque groupe de dugongs est le produit de la probabilité issue de la publication de [Pollock et al. 2006] qui tient compte de la détection liée à la profondeur du fond, la turbidité de l'eau et des vagues créées par le frottement du vent sur la surface de l'eau ainsi que le score de détectabilité calculé par le logiciel Harmony.

$P_{i,j}$: probabilité que les individus i et j se retrouvent dans le même échantillon s .

$$P_{i,j} = \sum_{s \ni i, s \ni j} p(s)$$

Ou d'après la loi de Poisson:

$$P_{ij} = P_i \cdot P_j$$

3) Calcul de l'estimateur d'Horvitz-Thompson pour l'estimation d'abondance des dugongs.

$$\hat{T} = \sum_{i \in S} \frac{Y_i}{P_i}$$

Y_i : valeur prise par la variable d'intérêt pour l'individu i

Si $Y_i=1$ et $P_i=1$, $T = N$, l'effectif total de la population.

Remarque : si l'échantillon s contient plusieurs fois l'individu i (cas de l'échantillonnage avec remise), ce dernier ne compte qu'une fois dans la formule.

4) Calcul de la variance de l'estimateur d'Horvitz-Thompson pour l'estimation d'abondance des dugongs.

$$V(\hat{T}) = \sum_{i \in E} \frac{1 - P_i}{P_i} Y_i^2 + 2 \sum_{i \in E} \sum_{\substack{j \in E \\ j \neq i}} \frac{P_{ij} - P_i \cdot P_j}{P_i \cdot P_j} Y_i \cdot Y_j$$

Ces formules ont été intégrées dans un logiciel statistique (R) et mises en œuvre sur les données informatives des groupes de dugongs validés comme “certains” par les vérificateurs (« nombre d’individus dans le groupe », « probabilité de disponibilité », « probabilité de détectabilité », voir Tableau 21 à Tableau 24 en annexe n°7.7.

Comme pour les campagnes précédentes [Cleguer 2015], l’abondance relative n’a pas été calculée si le nombre de groupes de dugongs considérés « certains » dans le bloc était strictement inférieur à 5.

Les dugongs considérés “incertains” n’ont pas été pris en compte dans l’estimation de la population car les formules proposées ci-dessus ne peuvent pas être utilisées sur une détection incertaine.

Pour intégrer une observation incertaine, tout se passe comme si un tirage à pile ou face était effectué pour décider si une observation réalisée peut être considérée comme correspondant à un groupe de dugongs ou pas.

Soit N le nombre de dugongs pour cette observation, P_i sa probabilité d’inclusion (associée à la variable I pour décider si l’observation est incluse dans l’échantillon final ou pas) et X la variable du résultat du pile ou face avec probabilité de succès égale à p ($X=1$ avec probabilité p , 0 sinon). X et I sont supposées indépendantes.

La contribution de cette observation à l’estimation du nombre total de dugongs est $X \cdot N / P_i$, ce qui donne en espérance $E(X) \cdot N / P_i = p \cdot N / P_i$. C’est la quantité qu’il faut utiliser pour l’estimation.

Pour la variance, la contribution de l’observation i à l’estimation de la variance est : $p \cdot (1 - P_i) / P_i^2 \cdot N^2 + p \cdot (1 - p) \cdot (N / P_i)^2$

Les covariances pour les observations i et j sont :
 $2 \cdot p(i) \cdot p(j) \cdot (P_{ij} - P_i \cdot P_j) / [P_i \cdot P_j \cdot P_{ij}] \cdot N_i \cdot N_j$

où $p(i)$ et $p(j)$ sont respectivement les probabilités que les observations i et j correspondent effectivement à des groupes de dugongs.

Les calculs d’abondance tenant compte des détections incertaines de dugongs n’ont pas pu être effectués au regard du temps imparti pour cette étude.

3.2. Résultats des estimations d'abondance et de densité relative

L'abondance relative est de 65 e.t.= 28 dugongs dans le bloc 1 et 301 e.t.= 144 dans le bloc 2, le nombre de groupes de dugongs considérés certains était insuffisant (<5) dans les blocs 3, 4 et 6 pour mener le calcul.

Sans prise en compte du score de confiance donné par le logiciel Harmony : l'abondance relative calculée est de 366 e.t.= 172 dugongs pour l'ensemble des blocs de la campagne 2018.

Bloc	Abondance relative selon Horvitz-Thompson	Ecart-type	Indice de confiance du calcul d'abondance : Min ²⁴	Indice de confiance du calcul d'abondance : Max	Nombre de groupes de dugongs certains détectés	Nombre de dugongs certains détectés
Bloc 1	64,68771	27,81944	10,16262	119,2128	5	5
Bloc 2	301,0971	143,7143	19,42225	582,77203	36	72
Bloc 3	NA	NA	NA	NA	0	0
Bloc 4	NA	NA	NA	NA	1	2
Bloc 6	NA	NA	NA	NA	0	0
Total blocs	365,78481	171,53374	29,58487	701,98483	42	79

Tableau 6: Abondance relative des dugongs sans prise en compte du score de confiance fourni par le logiciel Harmony

Avec prise en compte du score de confiance donné par le logiciel Harmony : l'abondance relative calculée est de 68 e.t.= 30 dans le bloc 1 et 313 e.t.= 145 dans le bloc 2, soit un total de 381 e.t.= 175 pour l'ensemble des blocs échantillonnés.

Bloc	Abondance relative selon Horvitz-Thompson	Ecart-type	Indice de confiance du calcul d'abondance : Min	Indice de confiance du calcul d'abondance : Max	Nombre de groupes de dugongs certains détectés	Nombre de dugongs certains détectés
Bloc 1	68,21549	29,98285	9,450171	126,9808	5	5
Bloc 2	312,5427	145,3578	27,64	597,43865	36	72
Bloc 3	NA	NA	NA	NA	0	0
Bloc 4	NA	NA	NA	NA	1	2
Bloc 6	NA	NA	NA	NA	0	0
Total blocs	380,75819	175,34065	37,090171	724,41945	42	79

Tableau 7: Abondance relative des dugongs avec prise en compte du score de confiance fourni par le logiciel Harmony

²⁴ Le minimum de l'indice de confiance du calcul d'abondance ne correspond pas au nombre de dugongs certains estimés par les validateurs car le nombre de groupes de dugongs utilisé pour faire ces calculs est trop faible pour que l'approximation normale soit valable. Une approche bayésienne pourrait permettre de prendre en compte cette donnée mais elle nécessite l'existence d'un modèle démographique de la population.

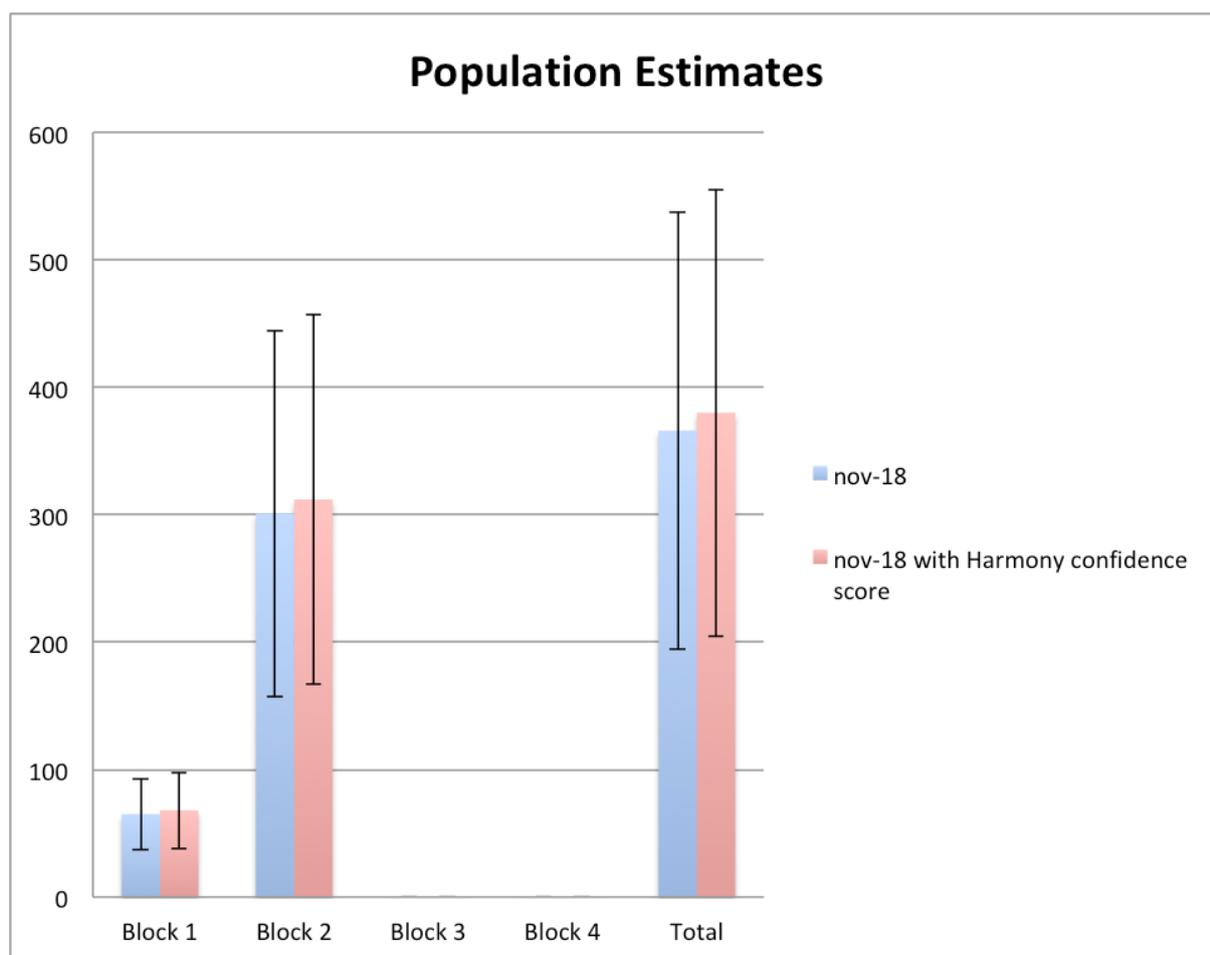


Figure 17: Abondance relative des dugongs sans/avec prise en compte du score de confiance fourni par le logiciel Harmony sur chacun des blocs et sur l'ensemble des 4 blocs

Ramenée au km², l'abondance donne une densité relative : $d = A / S$

Où d : densité relative, A : abondance relative, S : surface du bloc considéré.

La densité relative estimée lors de cette campagne 2018 est de 0,02 dugong/km² dans le bloc 1, de 0,22 dugong/km² dans le bloc 2 et 0 dans les blocs 3, 4 et 6, soit une densité moyenne de 0,06 dugong/km².

	Surface (km ²)	Surface échantillonnée (km ²)	Pourcentage échantillonné
Block 1	3303	655	20%
Block 2	1346	497	37%
Block 3 et 6 réalisé en continuité	2136	427	20%
Block 4	2530	526	21%
Total	9315	2105	22,6%

Tableau 8: Surface de chaque bloc

	Bloc	nov-18	nov-18 with Harmony confidence score*
Pop Est./km2	Block 1	0,02	0,02
	Block 2	0,22	0,23
	Block 3	NA	NA
	Block 4	NA	NA
	Block 6	NA	NA
	Moyenne	NA	NA

Tableau 9: Densité relative estimée lors de la campagne 2018 pour chaque bloc et en moyenne sur l'ensemble des 4 blocs, sans/avec prise en compte du score de confiance donné par le logiciel Harmony

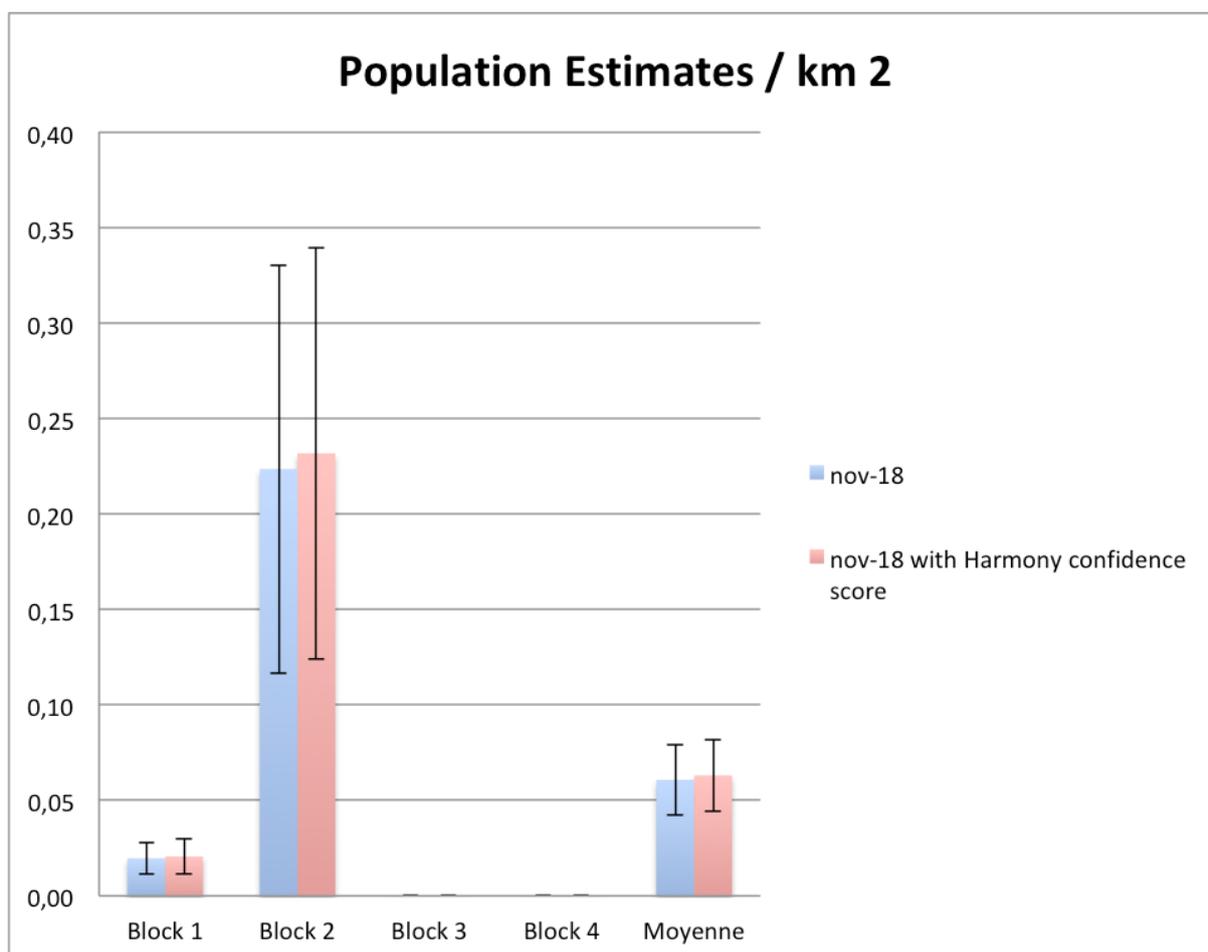


Figure 18: densité relative estimée lors de la campagne 2018 pour chaque bloc et en moyenne sur l'ensemble des 4 blocs sans/avec prise en compte du score de confiance donné par le logiciel Harmony

4. DISCUSSION, PRECAUTIONS ET PERSPECTIVES

Déplacements des dugongs

Entre chaque transect survolé lors d'un même vol, le biais lié au « double comptage » a été minimisé en optimisant les distances entre les transects, sauf pour les transects 1-1, 1-2 et 1-3 du bloc 1. Aucune détection de dugong, n'a néanmoins été relevée sur ces trois derniers transects.

Néanmoins, les dugongs pouvant parcourir plusieurs dizaines de kilomètres par jour, le risque de double comptage peut exister entre les vols (qui s'interrompent d'une journée à l'autre voire pendant plusieurs jours à cause des conditions météorologiques ou de la disponibilité de l'avion (maintenance obligatoire, autre activité aérienne)).

Facteurs environnementaux

L'ensemble de la campagne a suivi les recommandations et expériences acquises lors des précédentes campagnes.

Néanmoins, les facteurs environnementaux comme la turbidité de l'eau, la présence de vagues ou de moutons (visibles sur des photos qui ont été prises avant de décider d'arrêter l'acquisition car les conditions limites sont atteintes), la hauteur de la colonne d'eau, les reflets éventuels du soleil sur les vagues ou sur toute une zone, la ressemblance des dugongs avec leur environnement (selon les fonds marins en présence) sont des facteurs limitant la bonne détectabilité des individus.

Un nombre plus important de dugongs a été détecté dans le bloc 2, par rapport aux autres blocs. Les conditions de vent dans le bloc 2 (5 nœuds) ont été plus favorables que celles des blocs 1, 3, 4 et 6 (globalement 10 nœuds). Par ailleurs, la plus faible profondeur de la colonne d'eau dans le bloc 2 par rapport aux autres blocs peut également être un facteur favorable à une meilleure détectabilité et les résultats des précédentes campagnes confirment une présence de dugongs importante et parfois des rassemblements au sein de ce bloc.

Lorsque les conditions de vent étaient établies à 10 nœuds, la présence de reflets sur vaguelettes peut empêcher de garantir la bonne détectabilité de l'algorithme car ils entraînent une augmentation du nombre de fausses détections.

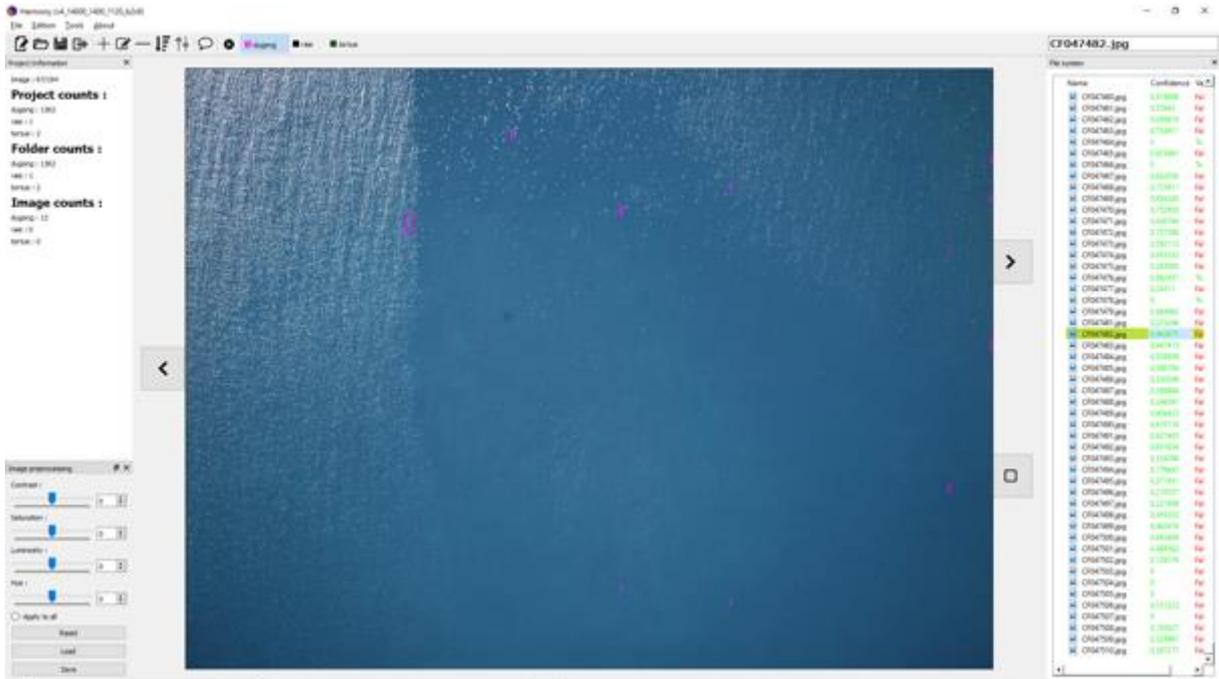


Figure 19: Photo CF047482 prise le 08/11/2018 à 9h11 (heure locale) dans le bloc 2 avec un vent établi à 5 nœuds. Les ovales entourent les détections automatiques de dugong, les traits indiquent une détection automatique avec une largeur très faible. Le seuil a été réglé à 0 pour afficher l'ensemble des fausses détections.

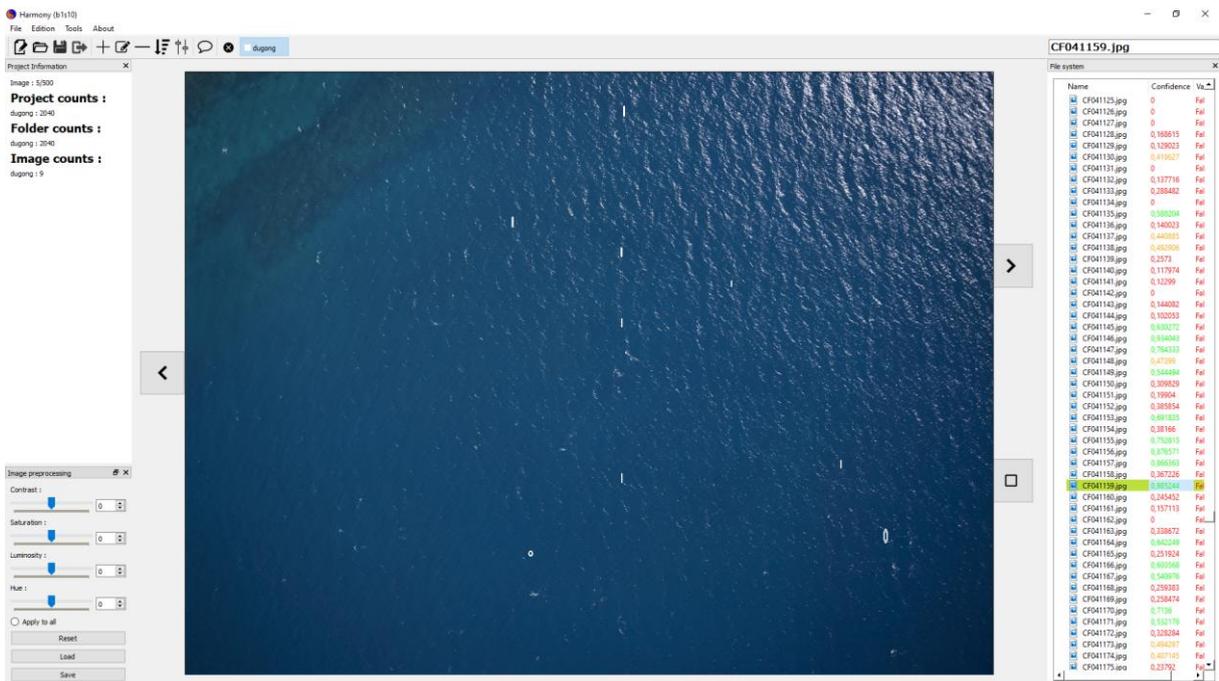


Figure 20: photo CF041159 prise le 31/10/2018 à 08h05 (heure locale) dans le bloc 1 avec un vent établi de 10 nœuds. Le rond et l'ovale entourent une détection automatique de dugong, les traits indiquent une détection automatique avec une largeur très faible. Le seuil a été réglé à 0 pour afficher l'ensemble des fausses détections.

Le logiciel d'analyse

Il est constaté une moins bonne performance de détection de l'algorithme dans des cas de photographies où les dugongs se confondent dans leur environnement (cf. Figure 21). Sur la photo CF044270, seuls deux dugongs ont été détectés par l'algorithme (ceux entourés d'un rond), elles ont, toutefois, permis d'attirer l'attention du vérificateur lors de la validation des détections.

Nous suggérons d'améliorer l'algorithme pour les prochaines campagnes en intégrant ces détections faites visuellement lors de l'étape de vérification.

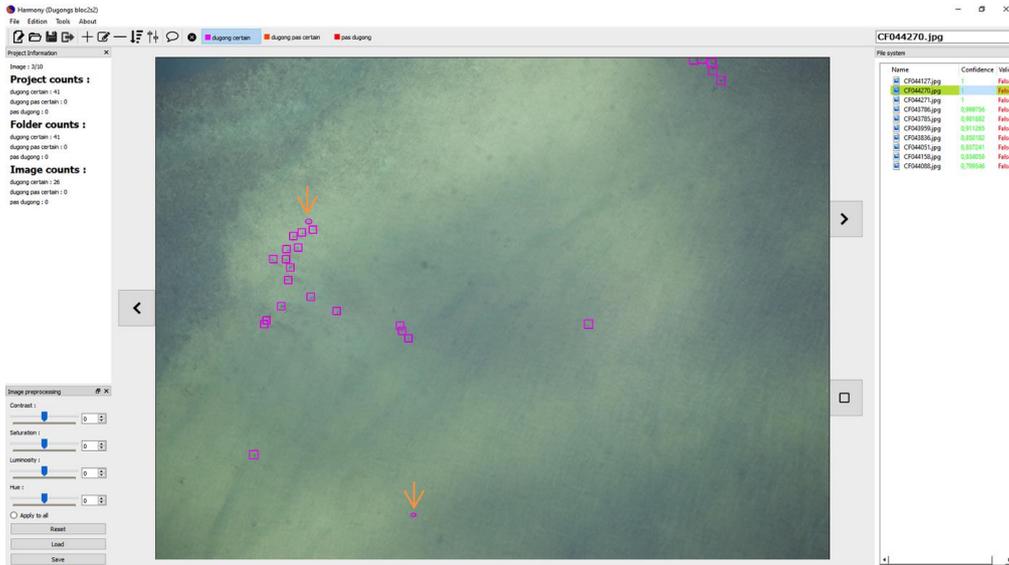


Figure 21: Photo CF044270: Groupes de dugongs proposés par Wipsea aux vérificateurs

Les détections faites par le logiciel sont entourées d'un rond violet (pointé par une flèche orange), les dugongs ajoutés manuellement lors de la vérification par Wipsea sont entourés d'un carré violet



Figure 22: Photo CF044270: Groupes de dugongs validés par les vérificateurs

Après intervention des vérificateurs, les dugongs jugés certains sont entourés d'un carré violet, ceux jugés incertains sont entourés d'un carré orange

La méthode utilisée, basée sur la vérification des premiers 15% des photos avec un score de confiance le plus élevé, semble pertinente pour faire émerger de la masse des photos acquises, celles sur lesquelles l'intervention d'un vérificateur est nécessaire (rapport coût/bénéfice). Elle est à conforter, par exemple, sur d'autres transects de référence.

Biais potentiels relatifs aux vérifications

Un biais lié à la vérification des détections subsiste lors de la phase de classement des détections ou d'ajout manuel de nouvelles observations non détections par l'algorithme.

Le travail sur des photographies aériennes permet le recueil de plusieurs avis sur les détections. En l'occurrence, lors de cette étude, les avis ont été donnés par au moins 2 personnes différentes pour les photos où un doute subsistait, limitant le risque de mauvaise classification.

Les appréciations effectuées par Wipsea²⁵, sur des photos nettes (aucune photo floue) et avec la possibilité d'accorder un temps conséquent à l'observation, d'utiliser une fonction de zoom puis, au besoin, d'y revenir a été un facteur garant d'une fiabilité des vérifications. Pour « les vérificateurs » les contraintes de temps et de disponibilité ont été un facteur limitant.

Par ailleurs, la classification établie par les « vérificateurs » repose sur une vérification visuelle des détections. Par manque de temps, les choix de classification par les vérificateurs n'ont pas pu intégrer les données relatives à la « longueur » des animaux détections. Cette confrontation des données semble intéressante pour conforter les classements. La donnée « taille » calculée par QGIS (cf. colonne « size » dans Tableau 21 à Tableau 24 en annexe n°7.7 à l'aide des balises « B » et « E » peut être rectifiée manuellement en les déplaçant. La marge d'erreur est alors d'un pixel, c'est à dire 4cm s'il n'y a pas d'effet de flou lié au filé, à la profondeur ou la turbidité de l'eau.

Une contre-expertise pourrait être menée en prenant en compte ces données pour consolider les résultats bruts et réviser, si nécessaire, les classements des détections visionnées.

Plusieurs critères sont à considérer pour conforter les classifications :

- la participation d'experts « dugongs » ;
- la possibilité de mettre en œuvre une méthodologie de vérification harmonisée tout au long de l'étude (test de cadrage préalable, test d'utilisation de la version allégée du logiciel Harmony, etc.) ; la possibilité de soumettre à l'ensemble des vérificateurs l'ensemble des photos nécessitant une validation ;

Les classifications établies dans le cadre de la présente étude ont été réalisées avec précaution, expliquant le nombre non négligeable de détections classées « dugong incertain ». Une différence d'appréciation pourrait être relevée entre des détections groupées sur une même photo ou prises individuellement, une vigilance est donc à porter lors de cas de regroupement.

²⁵ Clément Aubert, étudiant-écologue en apprentissage, Wipsea (non spécialiste des dugongs)

Pour les prochaines campagnes basées sur cette méthode, afin d'augmenter la certitude des classements des détections proposées par le logiciel, le comité technique du plan d'actions dugong a questionné la faisabilité d'augmenter le taux de recouvrement des photos afin de faire en sorte qu'un même individu puisse être observé, en mouvement, sur plusieurs photos consécutives. Plus de photos seraient alors générées avec un nombre de doublon à repérer potentiellement supplémentaire. Un travail plus conséquent en terme de stockage, transfert, analyse, utilisation d'un algorithme de détection automatique de doublons, validation, etc. est à considérer et à évaluer.

Limites liées à la méthodologie d'estimation d'abondance

Les biais liés aux facteurs environnementaux ont été pris en compte conformément aux travaux menés sur le sujet [Cleguer 2015] afin d'assurer une cohérence. L'hypothèse faite est que les probabilités de détection d'un dugong considéré « certain » sur une photographie aérienne et par un observateur embarqué sont identiques. Cette hypothèse nécessite néanmoins d'être confirmée scientifiquement.

Les résultats obtenus lors du calcul de l'estimation d'abondance font apparaître une estimation de population plus faible que les campagnes de l'année 2012 pour un nombre d'individus observés similaire. Cette différence peut provenir des valeurs utilisées pour les probabilités d'inclusion. Les probabilités d'inclusion sont le résultat d'un calcul à 2 niveaux :

- les probabilités d'inclusion liées au choix des transects résultent d'un calcul relativement aisé, ne pouvant pas expliquer cet écart.
- les probabilités de « disponibilité » liées à l'environnement immédiat des dugongs (profondeur de l'eau, turbidité, etc.) et à l'utilisation du tableau de [Pollock et al. 2006] résultent d'un calcul plus complexe pouvant expliquer cet écart.

L'appréciation visuelle des différents environnements par Wipsea lors de l'affectation de la probabilité de « disponibilité » est également sujette à discussion et expertise. Une vérification et une concertation sur le choix de cette valeur pourrait être envisagées lors des prochaines campagnes.

Ne disposant pas du modèle bathymétrique [Hagihara et al. 2018], la profondeur de la colonne d'eau n'a pas été prise en compte dans les estimations d'abondance relative.

Les détections de dugongs considérées comme "incertaines" n'ont pas été prises en compte dans les estimations d'abondance relative, ce qui soulève la question de leur intégration ou non dans les calculs. Un approfondissement de cette question et de la méthodologie à adopter pourrait être mené pour approfondir les premières estimations proposées.

Il pourrait également être envisagé de faire correspondre le minimum de l'intervalle de confiance du calcul d'abondance avec le nombre de dugongs considérés comme « certains » en utilisant une approche bayésienne.

La prise en compte du score de confiance donné par le logiciel Harmony donne une estimation de la population plus élevée car sa valeur systématiquement inférieure ou égale à 1, diminue encore les probabilités affectées à chaque détection. Mais la prise en compte du score de confiance dans ces estimations est sujet à discussion car le score de confiance définit uniquement la ressemblance de l'objet en question avec ceux que l'ordinateur a déjà vu lors de l'apprentissage, et ce dans le référentiel du réseau de neurones artificiel et non celui d'un humain. Ce score dépend donc de la qualité de la base d'apprentissage. Tout complément de cette base augmentera de facto la qualité de ce score à l'avenir.

N'ayant pas été conçu dans cette optique, les scores de confiance calculés par le réseau de neurones ne sont pas complètement en phase avec les classements faits par des humains (cf. Tableau 5).

La correspondance du score de confiance avec la « vérité terrain » pourrait être étudiée scientifiquement lors d'une étude complémentaire visant à comparer les résultats de différentes méthodologies (par exemple, l'acquisition de photos aériennes au-dessus de dugongs équipés de balises GPS ou l'acquisition de photos aériennes en simultanée avec des observations visuelles).

Mise en perspective avec les résultats des campagnes précédentes

Les résultats de cette campagne ne peuvent qu'être mis en perspective avec ceux des années précédentes (cf. annexe n°7.10) en l'absence d'une publication scientifique permettant de comparer les résultats obtenus avec les deux méthodes : celle basée sur des observateurs embarqués et celle basée sur l'analyse semi-automatique de photographies aériennes de haute résolution.

Par exemple, le projet SEMMACAPE, cofinancé par l'ADEME et mené par l'Agence Française pour la Biodiversité, France Energies Marines, l'équipe Obelix de l'Université de Bretagne Sud et Wipsea, de 2019 à 2022, propose une étude de ce type sur la zone du Parc Naturel Marin Estuaire de la Gironde Mer des Pertuis en embarquant un système de photogrammétrie dans le même avion que les observateurs pour comparer les deux méthodes de recensement des mammifères et des oiseaux marins.

5. CONCLUSION

L'étude de la distribution et de l'abondance de la population de dugongs de Nouvelle-Calédonie réalisée en 2018, pour le Plan d'actions dugong a fait appel à l'acquisition de photographies haute définition par survols aériens et à l'apprentissage profond (deep learning) pour leur analyse.

Sur les 135 détections classées, les résultats obtenus comptabilisent une présence de 79 dugongs considérés comme « certains » et de 33 dugongs complémentaires considérés « incertains ». L'estimation relative d'abondance calculée sur la base du nombre de dugongs « certains » sans les scores de confiance du logiciel pour la campagne 2018 s'élève à 366 e.t.= 172 dugongs. Avec les scores de confiance du logiciel, l'estimation relative d'abondance est estimée à 380 e.t.= 175 dugongs.

Cette campagne ayant impliquée une rupture technologique, il est nécessaire de prendre toutes les précautions adéquates dans l'interprétation des résultats et la mise en perspective avec les résultats des campagnes précédentes. Cette mise en perspective semble toutefois mettre en avant un nombre total d'observations brutes similaire aux dernières campagnes avec une différence notable au niveau de la répartition, les dugongs détectés étant principalement répartis dans le bloc 2 lors de la campagne 2018. De plus, bien que l'estimation d'abondance soit sujette à discussion, l'évolution des estimations d'abondance et de densité relative semblent à la baisse et abonder dans le sens d'une diminution de la population (2026 dugongs (e.t.=553) en 2003 et entre 606 (e.t.=200 en janvier 2008) et 1227 dugongs (e.t.=296 en juin 2012). En l'absence de certitudes, compte tenu des connaissances, bien que partielles, acquises sur le dugong depuis plusieurs années, le principe de précaution devrait prévaloir.

Les biais induits dans cette étude sont liés principalement aux facteurs environnementaux comme dans le cas du protocole « standard » basé sur des observateurs embarqués, c'est à dire la turbidité de l'eau, la présence de vagues ou de moutons, la hauteur de la colonne d'eau, les reflets éventuels du soleil sur les vagues ou sur toute une zone, le camouflage des dugongs dans leur environnement.

Un biais potentiel lié à la vérification des détections par des personnes est également à prendre en considération. Une consolidation des résultats bruts peut être effectuée *via* une contre-expertise et en confrontant les résultats des détections avec les données relatives à leur taille. Les auteurs recommandent également des travaux complémentaires pour approfondir les analyses présentées (prise en compte éventuelle des dugongs considérés « incertains », prise en compte de la bathymétrie, etc.).

Les apports de ces technologies ont permis de se placer dans des conditions de sécurité améliorées, de faire appel à une équipe réduite et de pérenniser la donnée dans le cadre d'un budget contraint. La preuve par l'image donne toute latitude pour revenir à nouveau sur les résultats. Les photographies acquises offrent la possibilité d'être réutilisées pour des analyses ultérieures par des procédés en constante progression. Dans le contexte actuel du développement des drones, quelques perspectives quant au choix du vecteur aérien ont été suggérées pour de futures campagnes [Roux et Duclos 2019].

La photographie en continu (en rafale²⁶) de dugong en mouvement et/ou des études comparatives des techniques d'observations (observateurs embarquées vs images haute définition, etc.) menées sur d'autres territoires ou à mener en Nouvelle-Calédonie sont autant de perspectives qui pourraient permettre de consolider les résultats obtenus.

²⁶ L'appareil photo utilisé (PhaseOne IXU180) peut enregistrer une photo toute les 1,6s alors qu'un rythme de 5s a été utilisé dans le cadre de cette mission pour assurer 20% de superposition sur deux photos successives à une vitesse de 90 nœuds. Un facteur 3 est donc possible avec le même appareil.

6. BIBLIOGRAPHIE

- BOUCHARD, B., 2017. Étude comportementale des capacités chimio-sensorielles des cétacés. Biologie animale. Université Montpellier, [tel-01705457](tel:01705457)
- CLEGUER C., 2015. Conservation du dugong en Nouvelle-Calédonie: une étude à plusieurs échelles spatio-temporelles. Synthèse finale de la thèse de doctorat. 168p. + Annexes
- CLEGUER, C., 2018. Revue et recommandations pour le Suivi de l'abondance et de la distribution de la population de dugongs de Nouvelle-Calédonie.
- GARRIGUE, C. & PATENAUDE, N. 2004. Statut de la population de dugongs en Provinces Nord et Sud de Nouvelle-Calédonie. *Rapport final*.
- HEINSOHN, G.E., SPAIN, A.V. & ANDERSON, P.K., 1976 b. Populations of dugongs (Mammalia:Sirenia): aerial survey over the inshore waters of tropical Australia. *Biol. Conserv.*,9: 21-23.
- HODGSON, A.; KELLY, N.; PEEL, D. 2013 Unmanned aerial vehicles (UAVS) for surveying marine fauna: A dugong case study. *PLoS ONE* 8, e79556.
- HORVITZ, D. G.; THOMPSON D. J. (1952) "A generalization of sampling without replacement from a finite universe", *Journal of the American Statistical Association*, 47, 663–685, JSTOR 2280784
- MARSH, H. & SINCLAIR, D. F. 1989b. An experimental evaluation of dugong and sea turtle aerial survey techniques. *Australian Wildlife Research*, 16, 639-650.
- MARSH, H., O'SHEA, T. J. & REYNOLDS III, J. E. 2011. Ecology and conservation of the sirenia: dugongs and manatees, *Cambridge Univ Pr*.
- POLLOCK, K., MARSH, H., LAWLER, I. R. & ALLDREDGE, M. 2006. Estimating Animal Abundance in Heterogeneous Environments: An Application to Aerial Surveys for Dugongs. *Journal of Wildlife Management*, 70, 255-262.
- ROUX, B., DUCLOS, G. 2018. Etude de la distribution de la population de dugongs de Nouvelle-Calédonie par survol aérien, Rapport de la phase d'intégration - *rapport n°1/3*.
- ROUX, B., DUCLOS, G. 2019 Etude de la distribution de la population de dugongs de Nouvelle-Calédonie par survol aérien, Rapport de mission de la campagne de 2018 - *rapport n°2/3*.

7. ANNEXES

7.1. Tableau des statistiques principales de la mission

date	aérodrome	lieux	durée	Nb d'axes	Nb de photos	focale	hauteur(ft)	nuages(n/8)	bases (ft)	Dir vent	force vent (kt)
25/10/18	Magenta	test	0h46		107	55	variable	2	2000	SE	10
26/10/18	Magenta	test	1h25	4	468	55	2800	2	2000	SE	10
27/10/18	Magenta	Bloc 1	2h05	3	680	55	2800	3	1500	SE	5
28/10/18	Magenta	Bloc 1	3h20	11	1787	55	1400	4	1500	SE	10
29/10/18	Magenta	recherche_dugongs	3h20			55	1400	2	1500	E	5
30/10/18	Magenta	Bloc 1	3h35	14	1685	55	1400	6	1500	E	10
31/10/18	Magenta	Bloc 1	2h30	14	1018	55	1400	3	2000	S	10
01/11/18	Magenta	Bloc 1	3h08	20	1262	55 puis 110	1400 puis 2800	1	3000	E	10
05/11/18	Magenta	Bloc 2	3h56	36	1275	55 puis 110	1400 puis 2800	8 à 1	3000	SW	5
06/11/18	Magenta	Bloc 2	3h58	30	1018	110	2800	2	5000	SW	5
07/11/18	Koné	Bloc 2	4h04	30	1554	110	2800	0 à 7	3000	SE	5
08/11/18	Koné	Bloc 2	3h19	20	934	100	2800	0	3000	SE	5
14/11/18	conv oyage		1h10								
15/11/18	Koné	Bloc4	3h56	31	1495	110	2800	0	1800	SE	5-10
16/11/18	Koné	Bloc4	3h19	14	1621	110 puis 55	2800 puis 1400	2	3000	SE	5-15
17/11/18	Koné	Bloc4	3h10 + 1h25	26	1519	55	1400	2	1400	SE	5-10
03/12/18	conv oyage aller		1h25								
04/12/18	Koumak	Belep+Bloc3	3h57	16	2021	110	2800	7	3000	E	5-10
05/12/2018 matin	Koumak+Koné	Bloc3	4h01	26	1800	110	2800	8	1800	SE	0-5
05/12/2018 après-midi	Koumak+Koné	Bloc3	1h40	10	642	110	2800	8	1800	SE	0-5
06/12/18	conv oyage retour		1h25								
		Total	60h35								

Tableau 10: Tableau des statistiques principales de la mission issu du rapport de mission [Roux et Duclos 2019]

7.2. Tableau des hauteurs de vol et conditions de vent pour chaque transect

Bloc	Transect	Date	Focale (mm)	Altitude de vol (ft)	Nuages (n/8)	Base nuages (ft)	Dir. vent	Force vent (kt)	
Bloc1	1-2	27/10/18	110	2800	3	1500	SE	5	
Bloc1	3-14	28/10/18	55	1400	4	1500	SE	10	
Bloc1	15-28	30/10/18	55	1400	6	1500	E	10	
Bloc1	29-41	31/10/18	55	1400	3	1500	S	10	
	42		Manquant ²⁷						
Bloc1	43-46	01/10/18	55	1400	1	3000	E	5-10	
Bloc1	47-60	01/10/18	110	2800	1	3000	E	5-10	
Bloc2	61-69	05/11/18	55	1400	8	3000	SW	5	
Bloc2	70-86	05/11/18	55	1400	5	3000	SW	5	
Bloc2	87-96	05/11/18	110	2800	5	3000	SW	5	
Bloc2	97-127	06/11/18	110	2800	2	5000	SE	5	
Bloc2	128-137	07/11/18	110	2800	0	N/A	SE	5	
Bloc2	138-148	07/11/18	110	2800	3	3000	SE	5	
Bloc2	149-157	07/11/18	110	2800	7	3000	SE	5	
Bloc2	158-177	08/11/18	110	2800	0	N/A	SE	5	

²⁷ Les données de ce transect ont bien été enregistrées par la centrale inertielle : a été jugé manquant à tort au moment de l'acquisition suite à la perte de signal du GPS de bord.

Bloc	Transect	Date	Focale (mm)	Altitude de vol (ft)	Nuages (n/8)	Base nuages (ft)	Dir. vent	Force vent (kt)
Bloc3	178-213	05/12/18	110	2800	8	3000	E	5
Bloc3	214-228	04/12/18	110	2800	7	5000	SE	10
Bloc4	229-235	16/11/18	110	2800	2	3000	SE	10
Bloc4	236-242	16/11/18	55	1400	2	3000	SE	10
Bloc4	243-268	17/11/18	55	1400	2	1800	SE	10
Bloc4	269-299	15/11/18	110	2800	0	N/A	SE	10

Tableau 11: Altitude de vol et appréciation des conditions météorologiques pour chaque transect

7.3. Tableau du nombre de photos affectées par des problèmes de qualité liés aux conditions environnementales

Bloc	Luminosité insuffisante	Nuages (>25%)	Reflets sur vaguelettes (>50%)	Reflets Spéculaires (>25%)	Total
1	133	21	0	0	154
2	0	0	53	0	53
3 et 6	0	0	90	0	90
4	0	21	12	11	44
Total	133	42	155	11	341
Pourcentage de 19986 photos	0,67%	0,21%	0,78%	0,06%	1,71%

Tableau 12: nombre de photos affectées par des problèmes de qualité liés aux conditions environnementales

7.4. Tableaux des détections effectuées visuellement par Wipsea et classées par les vérificateurs pour alimenter la phase d'entrainement ou tester les performances de l'algorithme

N° photos et position de la détection visuelle dans la photo (en pixels depuis le point en haut à gauche) Sur la base des photographies de 80 mégapixels sélectionnées et découpées en 25 images	N° photos	Type de fond	N° de bloc / Correspondance avec les transects de référence ²⁸ O (oui) / N (non)	Classement initial des détections par les « vérificateurs »* qui ont servi soit à alimenter l'entrainement (photos hors transects de référence) soit à tester les performances de l'algorithme		
				dugong certain	dugong incertain	pas dugong
Total photos : 89 Total détections : 93			52O / 37N	33	6	54
CF040809_9.jpg,474,560,130,130	CF040809_9		1/N			1
CF042848_1.jpg,1508,48,336,336	CF042848_1		2/N			1
CF043786_8.jpg,927,1123,55,55	CF043786_8	Eaux turbides	2/N	1		
CF043786_8.jpg,1080,878,70,70			2/N			1
CF043786_8.jpg,784,800,119,119			2/N			1
CF044571_8.jpg,1206,1117,98,98	CF044571_8	Récif	2/N	1		
CF044801_21.jpg,1256,1162,52,52	CF044801_21	Eaux turbides	2/N		1	
CF046620_3.jpg,574,862,98,98	CF046620_3	Sable	2/N	1		
CF046622_18.jpg,181,525,111,111	CF046622_18	Sable	2/N	1		
CF047202_3.jpg,7,870,91,91	CF047202_3	Sable avec herbier	2/N	1		
CF036545_7.jpg,1415,1439,32,32	CF036545_7	Récif	1/N	1		
CF039458_6.jpg,327,277,87,87	CF039458_6	Sable	1/N	1		
CF039786_11.jpg,202,1166,82,82	CF039786_11		1/N			1
CF040003_17.jpg,21,550,69,69	CF040003_17	Grand bleu	1/N	1		
CF040938_12.jpg,1338,878,81,81	CF040938_12		1/N			1
CF040938_19.jpg,541,763,81,81	CF040938_19		1/N			1
CF041254_13.jpg,926,711,118,118	CF041254_13	Sable	1/N	1		
CF043685_5.jpg,279,238,76,76	CF043685_5	Sable	2/N	1		
CF043686_8.jpg,200,1223,87,87	CF043686_8	Sable	2/N	1		
CF044502_8.jpg,1513,968,101,101	CF044502_8		2/N			1
CF044588_20.jpg,1590,720,79,79	CF044588_20	Eaux turbides	2/O	1		
CF044588_20.jpg,1943,13,79,79		Eaux turbides	2/O	1		
CF044589_18.jpg,924,849,79,79	CF044589_18	Eaux turbides	2/O	1		
CF044589_19.jpg,628,-4,79,79	CF044589_19	Eaux turbides	2/O	1		

²⁸ Les « transects de référence » correspondent aux deux transects (120 et 121) qui ont été sélectionnés par Wipsea pour mesurer les performances du logiciel de détection sur une zone de référence (test de l'algorithme après entrainement).

CF044685_16.jpg,1096,218,640,640	CF044685_16		2/O			1
CF044686_19.jpg,545,841,640,640	CF044686_19		2/O			1
CF044686_7.jpg,1285,1149,131,131	CF044686_7		2/O			1
CF044686_7.jpg,1888,1019,131,131			2/O			1
CF044686_7.jpg,1576,668,619,619			2/O			1
CF044687_1.jpg,426,989,94,94	CF044687_1	Sable avec herbier	2/O		1	
CF044687_1.jpg,1815,1327,94,94		Sable avec herbier	2/O	1		
CF044687_1.jpg,1575,1295,94,94			2/O			1
CF044687_11.jpg,8,391,278,278	CF044687_11		2/O			1
CF044687_16.jpg,1416,888,74,74	CF044687_16	Sable avec herbier	2/O	1		
CF044687_17.jpg,534,375,477,477	CF044687_17		2/O			1
CF044687_17.jpg,220,492,239,239			2/O			1
CF044687_5.jpg,1297,446,508,508	CF044687_5		2/O			1
CF044687_6.jpg,1429,852,422,422	CF044687_6		2/O			1
CF044687_6.jpg,1161,88,184,184			2/O			1
CF044687_6.jpg,475,363,300,300			2/O			1
CF044688_13.jpg,376,753,79,79	CF044688_13	Sable avec herbier	2/O		1	
CF044688_14.jpg,1173,546,195,195	CF044688_14		2/O			1
CF044688_16.jpg,1488,374,329,329	CF044688_16		2/O			1
CF044688_16.jpg,1164,655,329,329			2/O			1
CF044688_16.jpg,854,807,329,329			2/O			1
CF044688_17.jpg,336,510,276,276	CF044688_17		2/O			1
CF044688_17.jpg,1271,716,277,277			2/O			1
CF044688_8.jpg,1963,530,89,89	CF044688_8		2/O			1
CF044688_8.jpg,1773,593,189,189			2/O			1
CF044688_9.jpg,927,429,423,423	CF044688_9		2/O			1
CF044689_10.jpg,-117,547,388,388	CF044689_10		2/O			1
CF044689_5.jpg,1928,834,99,99	CF044689_5	Sable avec herbier	2/O	1		
CF044690_0.jpg,1375,1325,99,99	CF044690_0	Sable avec herbier	2/O	1		
CF044690_10.jpg,1317,722,401,401	CF044690_10		2/O			1
CF044690_14.jpg,-55,489,214,214	CF044690_14		2/O			1
CF044690_15.jpg,1514,887,111,111	CF044690_15	Sable avec herbier	2/O	2**		
CF044690_15.jpg,1620,784,92,92		Sable avec herbier	2/O	1		
CF044690_15.jpg,47,547,378,378		Sable avec herbier	2/O			1
CF044690_15.jpg,488,889,494,494		Sable avec herbier	2/O			1
CF044690_16.jpg,1210,-8,87,87	CF044690_16	Sable avec herbier	2/O		1	
CF044690_16.jpg,592,104,255,255			2/O			1
CF044690_9.jpg,1789,521,255,255	CF044690_9		2/O			1

CF044690_9.jpg,1725,741,84,84			2/O			1
CF044691_13.jpg,107,1041,319,319	CF044691_13		2/O			1
CF044691_14.jpg,1644,581,368,368	CF044691_14		2/O			1
CF044691_19.jpg,1227,775,398,398	CF044691_19	Sable avec herbier	2/O			1
CF044691_19.jpg,385,352,447,447			2/O			1
CF044691_19.jpg,1537,396,108,108			2/O			1
CF044691_19.jpg,1945,814,108,108		Sable avec herbier	2/O		1	
CF044691_21.jpg,1667,900,89,89	CF044691_21	Sable avec herbier	2/O	1		
CF044691_4.jpg,1691,839,89,89	CF044691_4	Sable avec herbier	2/O	1		
CF044692_24.jpg,914,1140,70,70	CF044692_24	Sable avec herbier	2/O	1		
CF044709_22.jpg,808,480,70,70	CF044709_22	Sable avec herbier	2/N	1		
CF044709_22.jpg,1020,132,288,288			2/N			1
CF044893_21.jpg,195,1465,79,79	CF044893_21	Sable avec récifs	2/N		1	
CF044926_0.jpg,51,250,81,81	CF044926_0		2/N			1
CF046880_10.jpg,1829,1417,97,97	CF046880_10	Eaux turbides	2/N	1		
CF047264_9.jpg,1157,167,152,152	CF047264_9	Grand bleu	2/N	2		
CF047308_21.jpg,1122,1320,74,74	CF047308_21		2/N			1
CF047309_10.jpg,495,795,70,70	CF047309_10		2/N			1
CF047309_5.jpg,847,144,81,81	CF047309_5		2/N			1
CF047309_5.jpg,321,167,81,81			2/N			1
CF047310_8.jpg,1068,275,50,50	CF047310_8		2/N			1
CF047310_8.jpg,1840,885,50,50			2/N			1
CF047314_4.jpg,188,1004,126,126	CF047314_4	Grand bleu	2/N	1		
CF047380_1.jpg,1027,479,104,104	CF047380_1		2/N			1
CF047418_18.jpg,1030,88,97,97	CF047418_18		2/N			2
CF049893_22.jpg,247,1375,97,97	CF049893_22	Sable	4/N	2**		
CF050370_16.jpg,1567,1374,92,92	CF050370_16	Eaux turbides	4/N	1		

*NB : certains classements initiaux ont été reconsidérés et modifiés pour les résultats finaux

** 1 adulte et 1 veau identifiés

Tableau 13: Tableau des classements donnés par les vérificateurs sur les détections effectuées visuellement par Wipsea pour alimenter la phase d'entraînement (photos hors transects de référence) ou tester les performances de l'algorithme (photos des transects de référence)

Correspondance couleurs d'écriture des colonnes « classement final » :

Noire : dugong
Bleue : doublon
Orange : incertain
Rouge : pas dugong

Bloc	Sous Bloc	Groupe Dugong	Effectif dans le groupe	Classement initial des vérificateurs sur détection visuelle sur la base des photographies sélectionnées et découpées en 25 images	Utilisé pour l'entraînement O (oui) N (non)	Détection détectée automatiquement par Harmony 1 (oui) 0 (non)	Détection manuelle via Harmony N/A : non relevant car détection auto par Harmony 1 (oui) 0 (non)	Classement final par les vérificateurs des détections qui ont été détectées automatiquement soit manuellement N/A : non relevant car non détectées
1	1	36545.1	1	1	N	1	N/A	0
1	7	39458.1	1	1	N	0	0	N/A**
1	8	40003.1	1	1	N	1	N/A	1
1	10	41254.1	1	1	N	1	N/A	1
2	1	43685.1	1	1	O	1	N/A	1
2	1	43686.1	1	1	O	1	N/A	0
2	2	43786.1	1	1	O	1	N/A	0
2	3	44571.1	1	1	O	1	N/A	1
2	3	44588.1	1	1	N	1	N/A	1
2	3	44588.2	1	1	N	0	1	1
2	3	44589.1	1	1	N	1	N/A	0
2	3	44589.2	1	1	N	0	1	0
2	3	44687.1	1	1	N	1	N/A	1
2	3	44687.2	1	1	N	1	N/A	1
2	3	44687.3	1	1	N	0	0	N/A**
2	3	44688.1	1	1	N	0	0	N/A**
2	3	44689.1	1	1	N	0	0	N/A**
2	3	44690.1	1	1	N	1	N/A	1
2	3	44690.2	2	2	N	0	2	2
2	3	44690.3	1	1	N	0	1	1
2	3	44690.4	1	1	N	0	0	1
2	3	44691.1	1	1	N	1	N/A	1
2	3	44691.2	1	1	N	0	1	0
2	3	44691.3	1	1	N	0	1	0
2	3	44692.1	1	1	N	1	N/A	0
2	3	44709.1	1	1	O	1	N/A	1
2	4	44801.1	1	1	N*	0	0	N/A**
2	4	44893.1	1	1	O	1	N/A	1
2	7	46620.1	1	1	O	1	N/A	1

2	7	46622.1	1	1	O	1	N/A	1
2	8	46880.1	1	1	O	1	N/A	1
2	8	47202.1	1	1	O	1	N/A	1
2	8	47264.1	2	2	O	1	1	0 + 0
2	8	47314.1	1	1	O	1	0	1
2	9	47380.1	1	0	N	1	N/A	1
2	9	47418.1	2	0	N	0	2	2
4	4	49893.1	2	2	O	1	1	2
4	5	50370.1	1	1	O	0	0	N/A**

N* : Dugong jugé trop « incertain » pour être intégré dans l'entraînement.

** : Les résultats finaux des classements ces détections sont présentés dans le tableau 22

Tableau 14: Tableau résumant, parmi les détections visuelles, celles utilisées pour l'entrainement et celles utilisées pour le test sur la zone de référence, puis les détections obtenues par et grâce au logiciel (détection automatique et détection manuelle) ainsi que l'évolution du classement de ces détections par les vérificateurs entre le classement initial (phase de test) et le classement final (phase d'analyse pour validation des résultats)

7.5. Critères de détermination de la probabilité de disponibilité

Table A.2: Availability probability estimates (SEs) for various strata of survey depths and turbidities calculated from data on artificial dugong models and the individual dive profiles of telemetered wild dugongs. (Extracted from Pollock et al. 2006).

Water quality	Depth range	Visibility of sea floor	Maximum depth of visibility of models ^a (m)	Depth zone of visibility (m) ^b to calculate p_a	p_a (SE)
Optimal sea state					
Clear	Shallow	Clearly visible	Bottom	All	1
Variable	Variable	Visible but unclear	2.44	2.5	0.65 (0.0452)
Clear	>5m	Not visible	4.32	4.0	0.46 ^c (0.057)
Turbid	Variable	Not visible	1.23	1.5 ^c	0.47 (0.0525)
Marginal sea state					
Clear	Shallow	Clearly visible	Bottom	Bottom	1
Variable	Variable	Visible but unclear	1.21	1.5 ^c	0.47 (0.0525)
Clear	>5m	Not visible	0.69	1.5 ^c	0.30 ^d (0.0724)
Turbid	Variable	Not visible	1.43	1.5 ^c	0.47 (0.0525)

^a Average for models 2.0 and 2.5 m long.

^b Maximum depth used to calculate p_a from the telemetered animals.

^c Based on minimum dive depth detectable on 15 telemetered wild dugongs. (See text for explanation.)

^d Based on records from 4 dugongs with mean, median, and modal maximum dives of >6 m and a corresponding subset of the data from 1 dugong that spent considerable time in water >5 m deep. (See text for explanation.)

Tableau 15: Critères de détermination de la probabilité de disponibilité

7.6. Tableaux des détections effectuées par le logiciel, nettoyées par Wipsea puis classées par les vérificateurs

Correspondance couleurs d'écriture de la colonne « choix final » :

Nombre noir : nombre de dugong

0 noir : pas dugong

0 rouge : pas dugong avec un classement ayant évolué par rapport au classement initial

Nombre bleu : nombre de doublon

Nombre orange : nombre d'incertain

Bloc 1 :

Sous Bloc	Groupe Dugong	Effectif initial du groupe*	Proba Pollock	Choix Final	Validation Groupe Dugongs Certains	Nb Dugongs Certains Valides
1	36553.1	1		0	0	0
8	40003.1	1	0,47	1	1	1
9	40902.1	1	NA	1	0	0
9	40645.1	1	NA	1	0	0
10	41159.1	1	0,47	1	0	0
10	40938.1	1	0,47	0	0	0
10	41254.1	1	1	1	1	1
10	41098.1	1	0,47	1	1	1
11	41705.1	1	0,47	1	0	0
11	41611.1	1	0,47	1	1	1
11	41612.1	1	0,47	1 1 Doublon de CF041611.1	0	0
12	42000.1	1	0,47	1	1	1
12	41999.1	1	0,47	1 1 Doublon de CF042000.1	0	0

* Pour les analyses avec R, les valeurs sont mises à jour avec les valeurs de la colonne « nb dugongs certains validés ».

Tableau 16: Choix final des vérificateurs pour les détections du bloc 1

Bloc 2 :

Sous Bloc	Groupe Dugong	Effectif initial du groupe*	Proba Pollock	Choix Final	Validation Groupe Dugongs Certains	Nb Dugongs Certains Valides
0	42781.1	1	0,65	0	0	0
0	42841.1	1	0,65	0	0	0
0	42754.1	1	0,47	0	0	0
0	43133.1	1	0,47	1	1	1
1	43257.1	1	0,47	0	0	0
1	43257.2	1	0,47	0	0	0
1	43286.1	2	1	2	1	2
1	43286.2	1	1	1	1	1
1	43286.3	4	1	4	1	4
1	43341.1	1	1	1	1	1

Sous Bloc	Groupe Dugong	Effectif initial du groupe*	Proba Pollock	Choix Final	Validation Groupe Dugongs Certains	Nb Dugongs Certains Valides
1	43341.2	2	1	2	1	2
1	43341.3	3	1	3	1	3
1	43341.4	1	1	1	1	1
1	43342.1	1	1	1 doublon de 43341.4 (certain)	0	0
1	43362.1	1	1	1	0	0
1	43377.1	1	1	0	0	0
1	43468.1	1	1	0	0	0
1	43547.1	1	1	1	0	0
1	43564.1	1	1	0	0	0
1	43567.1	1	1	0	0	0
1	43567.2	1	1	0	0	0
1	43685.1	1	1	1	1	1
1	43686.1	1	1	1 doublon de 43685.1 (certain)	0	0
2	43785.1	1	1	1	0	0
2	43786.1	1	1	1 doublon de 43785.1 (incertain)	0	0
2	43836.1	1	0,65	0	0	0
2	43836.2	2	0,65	0	0	0
2	43836.3	12	0,65	0	0	0
2	43959.1	1	1	1	1	1
2	44051.1	1	1	0	0	0
2	44088.1	1	1	0	0	0
2	44127.1	1	1	0	0	0
2	44158.1	2	1	0	0	0
2	44270.1	2	0,65	2	1	2
2	44270.2	3	0,65	3	1	3
2	44270.3	19	0,65	19	1	19
2	44270.4	1	0,65	1	0	0
2	44270.5	1	0,65	1	0	0
2	44270.6	6	0,65	7 doublons : de (5 dugongs certains dans 44271.2), et de 2 incertains dans 44271.3)	0	0
2	44270.7	1	0,65	1	0	0
2	44270.8	1	0,65	1	0	0
2	44270.9	1	0,65	0	0	0
2	44270.1	1	0,65	0	0	0
2	44271.1	1	0,65	1	1	1

Sous Bloc	Groupe Dugong	Effectif initial du groupe*	Proba Pollock	Choix Final	Validation Groupe Dugongs Certains	Nb Dugongs Certains Valides
2	44271.2	3	0,65	5	1	5
2	44271.3	2	0,65	2	0	0
3	44365.1	1	1	0	0	0
3	44571.1	1	1	1	1	1
3	44571.2	1	1	1	0	0
3	44581.1	1	0,47	0	0	0
3	44588.1	1	0,47	1	1	1
3	44588.2	1	0,47	1	1	1
3	44589.1	1	0,47	1 doublon de 44588.1 (certain)	0	0
3	44589.2	1	0,47	1 doublon de 44588.2 (certain)	0	0
3	44611.1	1	0,47	0	0	0
3	44678.1	1	0,65	1	1	1
3	44679.1	1	0,65	1 doublon de 44678.1 (certain)	0	0
3	44686.1	1	0,65	0	0	0
3	44687.1	1	0,47	1	0	0
3	44687.2	1	0,65	1	1	1
3	44687.3	1	NA	0	0	0
3	44689.1	1	0,47	1 (faux négatif)	1	1
3	44690.1	1	0,47	1	1	1
3	44690.2	2	0,47	2	1	2
3	44690.3	1	0,47	1	0	0
3	44690.4	1	0,47	1 doublon de 44691.3 (certain)	0	0
3	44691.1	1	0,47	1	1	1
3	44691.2	1	NA	2 doublons de 44690.2 (certains)	0	0
3	44691.3	1	NA	1	1	1
3	44692.1	1	0,47	1 doublon de 44691.1 (certain)	0	0
3	44709.1	1	0,47	1	1	1
4	44801.1	1	0,47	1 (faux négatif)	0	0
4	44852.1	1	0,47	1	0	0
4	44865.1	1	1	1	1	1
4	44893.1	1	1	1	1	1
4	44926.1	1	1	0	0	0
4	45169.1	1	0,47	0	0	0

Sous Bloc	Groupe Dugong	Effectif initial du groupe*	Proba Pollock	Choix Final	Validation Groupe Dugongs Certains	Nb Dugongs Certains Valides
4	45169.2	1	0,47	0	0	0
4	45202.1	1	0,65	0	0	0
4	45262.1	1	0,47	1	0	0
4	45262.2	1	0,47	1	0	0
5	45352.1	1	1	0	0	0
5	45394.1	1	1	0	0	0
5	45710.1	1	1	0	0	0
6	45831.1	2	0,65	2	1	2
6	45867.1	1	1	0	0	0
6	45919.1	1	1	0	0	0
6	45942.1	1	1	0	0	0
6	46045.1	1	1	0	0	0
6	46047.1	1	0,65	1	1	1
6	46047.2	1	0,65	0	0	0
6	46047.3	1	0,65	1	1	1
6	46048.1	1	0,65	1 Doublon de 46047.1 (certain)	0	0
6	46048.2	1	0,65	0	0	0
6	46048.3	1	0,65	1 Doublon de 46047.3 (certain)	0	0
6	46094.1	1	0,65	0	0	0
6	46171.1	1	0,65	0	0	0
7	46419.1	1	0,65	1	0	0
7	46530.1	1	1	0	0	0
7	46534.1	1	0,65	0	0	0
7	46538.1	1	0,65	0	0	0
7	46587.1	1	0,65	0	0	0
7	46607.1	1	0,65	0	0	0
7	46620.1	1	0,65	1	1	1
7	46622.1	1	0,65	1	0	0
7	46668.1	1	1	0	0	0
7	46668.2	1	1	0	0	0
7	46668.3	1	1	0	0	0
7	46669.1	1	1	0	0	0
7	46674.1	1	0,65	0	0	0
7	46697.1	1	0,47	0	0	0
7	46699.1	1	0,65	0	0	0
7	46745.1	1	0,65	0	0	0
7	46747.1	1	1	0	0	0

Sous Bloc	Groupe Dugong	Effectif initial du groupe*	Proba Pollock	Choix Final	Validation Groupe Dugongs Certains	Nb Dugongs Certains Valides
8	46858.1	1	1	0	0	0
8	46880.1	1	0,47	1	0	0
8	47036.1	1	1	0	0	0
8	47080.1	1	1	0	0	0
8	47080.2	1	1	0	0	0
8	47200.1	1	0,47	1	0	0
8	47202.1	1	0,65	1	1	1
8	47263.1	2	0,47	2	1	2
8	47264.1	2	0,47	2 Doublons de CF047263.1 (certains)	0	0
8	47309.1	1	0,65	0	0	0
8	47309.2	1	0,65	0	0	0
8	47310.1	1	0,47	0	0	0
8	47314.1	1	0,47	1	0	0
9	47350.1	1	0,47	0	0	0
9	47367.1	1	0,47	1	1	1
9	47379.1	1	0,47	1	0	0
9	47380.1	1	0,47	1	0	0
9	47418.1	2	0,65	2	1	2
9	47455.1	1	1	0	0	0
9	47476.1	1	0,47	0	0	0

* Pour les analyses avec R, les valeurs sont mises à jour avec les valeurs de la colonne « nb dugongs certains validés ».

Tableau 17: Choix final des vérificateurs pour les détections du bloc 2

Bloc 3 : aucune détection

Bloc 4 :

Sous Bloc	Groupe Dugong	Effectif initial du groupe*	Proba Pollock	Choix Final	Validation Groupe Dugongs Certains	Nb Dugongs Certains Valides
0	47621.1	1		0	0	0
0	47723.1	1		0	0	0
0	47841.1	1		0	0	0
0	47843.1	1		0	0	0
1	48051.1	1	0,47	1	0	0
4	49893.1	2	0,47	2	0	0
5	50230.1	1	0,47	1	1	1
5	50370.1	1	0,47	1 (faux négatif)	1	1
7	51145.1	1	0,47	1	0	0
7	51539.1	1		0	0	0
8	51670.1	1		0	0	0

* Pour les analyses avec R, les valeurs sont mises à jour avec les valeurs de la colonne « nb dugongs certains validés ».

Tableau 18: Choix final des vérificateurs pour les détections du bloc 4

Bloc 6 :

Sous Bloc	Groupe Dugong	Effectif initial du groupe*	Proba Pollock	Choix Final	Validation Groupe Dugongs Certains	Nb Dugongs Certains Valides
0	52438.1	1	0,65	1	0	0
0	52439.1	1	0,65	1	0	0
0	52439.2	1	0,65	1 Doublet de CF052438.1 (incertain)	0	0
0	52228.1	1	N/A	0	0	0
0	52563.1	1	N/A	0	0	0
0	52626.1	1	N/A	0	0	0

* Pour les analyses avec R, les valeurs sont mises à jour avec les valeurs de la colonne « nb dugongs certains validés ».

Tableau 19: Choix final des vérificateurs pour les détections autour de l'île Bélep

N° de sous bloc correspondant au n° de projets du logiciel Harmony	Nombre de photos vérifiées	Nombre de détections vérifiées (issues des fichiers .json)	Nombre de dugongs certains détectés	Nombre de dugongs incertains classés
Bloc 1s1	10	11	0	0
Bloc 1s2	5	7	0	0
Bloc 1s3	3	3	0	0
Bloc 1s4	3	3	0	0
Bloc 1s5	0	0	0	0
Bloc 1s6	7	8	0	0
Bloc 1s7	5	5	0	0
Bloc 1s8	7	8	1	0
Bloc 1s9	20	22	0	2
Bloc 1s10	6	8	2	1
Bloc 1s11	21	24	1 dugong et 1 doublon	1
Bloc 1s12	12	12	1 dugong et 1 doublon	0
Bloc 1s13	4	4	0	0
Sous total bloc 1	103	115	5 dugongs et 2 doublons	4 dugongs incertains
Bloc 2s0	4	4	1	0
Bloc 2s1	12	28	15 dugongs et 2 doublons	2
Bloc 2s2	10	49	31 dugongs et 5 doublons	7 dugongs et 3 doublons
Bloc 2s3	14	25	11 dugongs et 7 doublons	3
Bloc 2s4	7	9	2	3
Bloc 2s5	3	3	0	0
Bloc 2s6	9	14	4 dugongs et 2 doublons	0
Bloc 2s7	15	14	1	2
Bloc 2s8	11	15	3 dugongs et 2 doublons	3
Bloc 2s9	7	8	3	2
Faux négatifs	2 photos supplémentaires	2	1	1
Sous total bloc 2	94	171	72 dugongs et 18 doublons	23 dugongs incertains et 3 doublons
Bloc 6 (correspondance logiciel Harmony 3s0 car précédemment inclus dans la prolongation du bloc 3)	11	13	0	2 dugongs et 1 doublon
Sous total bloc 6	11	13	0	2 dugongs incertains et 1 doublon
Bloc 3s1	3	3	0	0
Bloc 3s2	5	5	0	0
Bloc 3s3	2	2	0	0
Bloc 3s4	4	5	0	0
Bloc 3s5	9	14	0	0
Bloc 3s6	10	18	0	0
Bloc 3s7	10	13	0	0
Bloc 3s8	2	2	0	0
Sous total bloc 3	45	62	0	0

N° de sous bloc correspondant au n° de projets du logiciel Harmony	Nombre de photos vérifiées	Nombre de détections vérifiées (issues des fichiers .json)	Nombre de dugongs certains détectés	Nombre de dugongs incertains classés
Bloc 4s0	17	19	0	0
Bloc 4s1	1	1	0	1
Bloc 4s2	0	0	0	0
Bloc 4s3	0	0	0	0
Bloc 4s4	5	5	0	2
Bloc 4s5	1	1	1	0
Bloc 4s6	0	0	0	0
Bloc 4s7	3	3	0	1
Bloc 4s8	3	3	0	0
Bloc 4s9	1	1	0	0
Faux négatifs	1	1	1	0
Sous total bloc 4	32	34	2 dugongs	4 dugongs incertains
Total	285	395	79 dugongs certains et 20 doublons	33 dugongs incertains et 4 doublons

Tableau 20: Résumé des validations et classifications menées par les vérificateurs sur les détections effectuées par le logiciel et « nettoyées » par Wipsea

*considéré comme doublon car correspond à un même dugong vu deux fois sur deux photos différentes qui après géolocalisation se superposent (ou se suivent).

7.7. Tableaux des détections par bloc exportés depuis QGIS à l'aide du « plugin SEMMA-DRONE » et détections relevées hors logiciel

Bloc 1 :

object_id	Image	size (cm)	Valid Certain	5	comment	availability proba	detection	Confidence score
1	CF040003	150.3	true	1		0,47	automatic	0.995619
2	CF040645	635.0	false	0	not certain	NA	automatic	0.56721
3	CF040902	459.4	false	0	not certain	NA	automatic	0.671701
6	CF041098	161.3	true	1		0,47	automatic	0.840686
7	CF041159	145.7	false	0	not certain	0,47	automatic	0.985244
8	CF041254	370.6	true	1		1	automatic	0.998717
9	CF041611	84.5	true	1		0,47	automatic	0.997497
10	CF041612		true	0	Duplicate of 9	0,47	automatic	
11	CF041705	80.2	false	0	not certain	0,47	automatic	0.99893
12	CF041999		true	0	Duplicate of 13	0,47	automatic	
13	CF042000	739.1	true	1		0,47	automatic	0.993807

Tableau 21: Détections du bloc 1

Bloc 2 :

object_id	image	size (cm)	Valid Certain	72	comment	availability proba	detection	Confidence score
1	CF043133	246.1	true	1		0,47	automatic	0.719854
2	CF043286	21.4	true	1		1	automatic	0.921925
3	CF043286	278.6	true	1		1	manual	1.0
4	CF043286	278.6	true	1		1	manual	1.0
5	CF043286	53.5	true	1		1	manual	1.0
6	CF043286	277.3	true	1		1	manual	1.0
7	CF043286	283.9	true	1		1	manual	1.0
8	CF043286	45.2	true	1		1	manual	1.0
9	CF043341	286.6	true	1		1	automatic	0.89633
10	CF043341	276.5	true	1		1	manual	1.0
11	CF043341	279.9	true	1		1	manual	1.0
12	CF043341	40.8	true	1		1	manual	1.0
13	CF043341	41.1	true	1		1	manual	1.0
14	CF043341	68.6	true	1		1	manual	1.0
15	CF043341	51.4	true	1		1	manual	1.0
16	CF043342	178.7	false	0	Duplicate of 9	1	automatic	0.994684
19	CF043362	172.6	false	0	not certain	1	automatic	0.969864
23	CF043547	49.8	false	0	not certain	1	automatic	0.983218
28	CF043685	42.1	true	1		1	automatic	0.999819
29	CF043686		true	0	Duplicate of 28	1	automatic	
30	CF043785	300.3	false	0	not certain	1	automatic	0.981882
31	CF043786		false	0	Duplicate of 30 not certain	1	automatic	
32	CF043959	65.1	true	1		1	automatic	0.911265
33	CF044270	25.4	true	1		0,65	automatic	0.319684

object_id	image	size (cm)	Valid Certain	72	comment	availability proba	detection	Confidence score
34	CF044270	436.3	true	1		0,65	automatic	0.896023
35	CF044270	519.3	true	1		0,65	manual	1.0
36	CF044270	535.0	true	1		0,65	manual	1.0
37	CF044270	532.0	true	1		0,65	manual	1.0
38	CF044270	532.0	true	1		0,65	manual	1.0
39	CF044270	535.0	true	1		0,65	manual	1.0
40	CF044270	531.7	true	1		0,65	manual	1.0
41	CF044270	42.6	true	1		0,65	manual	1.0
42	CF044270	535.0	true	1		0,65	manual	1.0
43	CF044270	532.0	true	1		0,65	manual	1.0
44	CF044270	522.3	true	1		0,65	manual	1.0
45	CF044270	32.7	true	1		0,65	manual	1.0
46	CF044270	32.7	true	1		0,65	manual	1.0
47	CF044270	535.0	true	1		0,65	manual	1.0
48	CF044270	528.6	true	1		0,65	manual	1.0
49	CF044270	528.6	true	1		0,65	manual	1.0
50	CF044270	532.0	true	1		0,65	manual	1.0
51	CF044270	525.6	true	1		0,65	manual	1.0
52	CF044270	522.3	true	1		0,65	manual	1.0
53	CF044270	532.0	true	1		0,65	manual	1.0
54	CF044270	89.2	true	1		0,65	manual	1.0
55	CF044270	99.0	true	1		0,65	manual	1.0
56	CF044270	522.3	true	1		0,65	manual	1.0
116	CF044270	100.0	false	0	not certain	0,65	manual	1.0
117	CF044270	100.0	false	0	not certain	0,65	manual	1.0
118	CF044270	100.0	false	0	not certain	0,65	manual	1.0
119	CF044270	100.0	false	0	not certain	0,65	manual	1.0
120	CF044270 ⁱ	100.0	false	0	Duplicate of 64	0,65	manual	1.0
121	CF044270 ⁱ	100.0	false	0	Duplicate of 59	0,65	manual	1.0
122	CF044270 ⁱ	100.0	false	0	Duplicate of 114 not certain	0,65	manual	1.0
123	CF044270 ⁱ	100.0	false	0	Duplicate of 62	0,65	manual	1.0
124	CF044270 ⁱ	100.0	false	0	Duplicate of 61	0,65	manual	1.0
125	CF044270 ⁱ	100.0	false	0	Duplicate of 60	0,65	manual	1.0
126	CF044270 ⁱ	100.0	false	0	Duplicate of 115 not certain	0,65	manual	1.0
57	CF044271	87.1	true	1		0,65	automatic	0.949931
59	CF044271	535.3	true	1		0,65	automatic	0.129343
60	CF044271	519.4	true	1		0,65	manual	1.0
61	CF044271	528.9	true	1		0,65	manual	1.0
62	CF044271	528.9	true	1		0,65	manual	1.0
64	CF044271	528.9	true	1		0,65	manual	1.0
114	CF044271	100.0	false	0	not certain	0,65	manual	1.0
115	CF044271	100.0	false	0	not certain	0,65	manual	1.0
65	CF044571	337.7	true	1		1	automatic	0.991016
113	CF044571	100.0	false	0	not certain	1	manual	1.0
66	CF044588	503.6	true	1		0,47	automatic	0.996825

object_id	image	size (cm)	Valid Certain	72	comment	availability proba	detection	Confidence score
67	CF044588	324.1	true	1		0,47	manual	1.0
68	CF044589		true	0	Duplicate of 67	0,47	manual	
69	CF044589		true	0	Duplicate of 66	0,47	automatic	
70	CF044678	302.8	true	1		0,65	automatic	0.998311
71	CF044679		true	0	Duplicate of 70	0,65	automatic	
72	CF044687	314.6	false	0	not certain	0,47	automatic	0.980515
73	CF044687	330.4	true	1		0,65	automatic	0.996341
75	CF044690	291.3	true	1		0,47	automatic	0.903184
76	CF044690	540.9	true	1		0,47	manual	1.0
77	CF044690	534.5	true	1		0,47	manual	1.0
78	CF044690	537.9	false	0	not certain	0,47	manual	1.0
129	CF044690*	N/A	true	0	Duplicate of 130	0,47	manual	
130	CF044691*	N/A	true	1		0,47	automatic	0.311
79	CF044691	336.4	true	1		0,47	automatic	0.994689
127	CF044691	540.9	false	0	Duplicate of 76	0,47	manual	1.0
128	CF044691	534.5	false	0	Duplicate of 77	0,47	manual	1.0
80	CF044692		true	0	Duplicate of 79	0,47	automatic	
81	CF044709	310.0	true	1		0,47	automatic	0.99807
82	CF044852	329.3	false	0	not certain	0,47	automatic	0.995831
84	CF044865	169.4	true	1		1	automatic	0.990139
86	CF044893	132.3	true	1		1	automatic	0.981007
87	CF045262	197.1	false	0	not certain	0,47	automatic	0.881309
88	CF045262	545.7	false	0	not certain	0,47	manual	1.0
89	CF045831	475.9	true	1		0,65	automatic	0.994068
90	CF045831	709.2	true	1		0,65	manual	1.0
91	CF046047	345.0	true	1		0,65	automatic	0.365168
92	CF046047	364.0	true	1		0,65	automatic	0.999606
93	CF046048		true	0	Duplicate of 91	0,65	automatic	
94	CF046048		true	0	Duplicate of 92	0,65	automatic	
95	CF046419	113.4	false	0	not certain	0,65	automatic	0.978863
97	CF046620	372.4	true	1		0,65	automatic	0.999343
98	CF046622	495.3	false	0	not certain	0,65	automatic	0.999767
100	CF046880	259.1	false	0	not certain	0,47	automatic	0.979777
101	CF047200	286.6	false	0	not certain	0,47	automatic	0.998263
102	CF047202	328.8	true	1		0,65	automatic	0.996866
103	CF047263	341.7	true	1		0,47	automatic	0.99813
104	CF047263	377.5	true	1		0,47	manual	1.0
105	CF047264		true	0	Duplicate of 103	0,47	automatic	
106	CF047264		true	0	Duplicate of 104	0,47	manual	
107	CF047314	479.6	false	0	not certain	0,47	automatic	0.995724
108	CF047367	49.55	true	1		0,47	automatic	0.988004
109	CF047379	217.6	false	0	not certain	0,47	automatic	0.931609
110	CF047380	273.8	false	0	not certain	0,47	automatic	0.99874

object_id	image	size (cm)	Valid Certain	72	comment	availability proba	detection	Confidence score
111	CF047418	130.2	true	1		0,65	manual	1.0
112	CF047418	6.480	true	1		0,65	manual	1.0
131	CF044689**	N/A	true	1	Faux négatif	0,47	visuelle	0
132	CF044801***	N/A	false	0	Faux négatif not certain	0,47	visuelle	0

ⁱ Détections classées « non certaines » par les vérificateurs qui, après analyse des doublons, sont soit des doublons de détections certaines soit des doublons de détections incertaines. Dans le tableau 4 des résultats, une détection non certaine considérée comme un doublon d'une détection certaine est comptabilisée dans « nombre de doublon de dugong certain » ; une détection non certaine considérée comme un doublon d'une détection incertaine est comptabilisée dans « nombre de doublon de dugong incertain ».

* CF044690_4 non détecté automatiquement mais ajouté manuellement lors de la détermination des doublons

** Hors des 15 % de photos analysées

*** Hors des 15 % de photos analysées et non intégré dans l'entraînement car dugong trop incertain

Tableau 22: Détections du bloc 2

Bloc 4 :

object_id	Image	size (cm)	Valid Certain	2	comment	availability proba	detection	Confidence score
1	CF048051	322.3	false	0	not certain	0,47	automatic	0.92823
2	CF049893	378.1	false	0	not certain	0,47	automatic	0.999372
3	CF049893	419.7	false	0	not certain	0,47	manual	1.0
4	CF050230	156.0	true	1		0,47	automatic	0.691563
5	CF051145	328.2	false	0	not certain	0,47	automatic	0.997836
6	CF050370*	N/A	true	1	Faux négatif	0,47	visuelle	0 (0.157287)

* Dugong détecté mais filtré lors de l'application du seuil à 69.

Tableau 23: Détections dans le bloc 4

Bloc 6 :

object_id	Image	size (cm)	Valid Certain	0	comment	availability proba	detection	Confidence score
1	CF052438	479.5	false	0	not certain	0,65	automatic	0.62093
3	CF052439	493.3	false	0	not certain	0,65	automatic	0.580206
4	CF052439	480	false	0	not certain Duplicate of 1	0,65	manual	1

Tableau 24: Détections du bloc 6

7.8. Tableau indiquant la surface échantillonnée par les photos sur chaque transect avec le numéro de la photo du début du transect

Transect	Bloc	Surface (km2)	N° Photo Début	Commentaire
1	1	23,142357	36142	5 photos avec plus de 25% de nuages : 36310, 36311, 36312 36315 et 36322
2	1	22,823334	36355	16 photos avec plus de 25% de nuages : 36408 à 410, 414 à 421, 423 à 426 et 433.
3	1	24,166663	36566	jusqu'à 36672. Puis transect refait dans l'autre sens de 36822 à 37005 à cause de présence de nuages sur plus de 25% de la surface de 17 photos : 36644, 681 à 687, 690 à 691, 693, 703, 711, 714 et 722 à 723.
4	1	19,21048	37011	
5	1	20,045696	37190	
6	1	18,78131	37380	
7	1	17,648438	37555	
8	1	14,783375	37726	
9	1	14,480165	37865	
10	1	15,437706	38000	
11	1	15,551617	38144	
12	1	14,800248	38294	
13	1	15,96962	38432	
14	1	15,511445	38756	Photos sombres de 38756 à 38888 (133 photos)
15	1	16,158967	38902	
16	1	14,574778	39052	
17	1	13,090629	39188	
18	1	13,077255	39315	
19	1	13,827188	39437	
20	1	14,144935	39565	
21	1	13,662088	39697	
22	1	13,162547	39823	embardée hors transect
23	1	7,569382	39952	
24	1	8,152738	40027	
25	1	12,233932	40103	
26	1	11,359971	40220	
27	1	11,220348	40333	
28	1	11,510294	40447	
29	1	9,027808	40554	
30	1	9,1092	40638	Position GPS de CF040670 hors transect puis repasse sur CF040659 à CF040668 avec CF040672 à CF040681
31	1	8,158089	40735	
32	1	7,403413	40811	
33	1	7,08424	40880	
34	1	6,218906	40946	
35	1	6,64565	41005	

Transect	Bloc	Surface (km2)	N° Photo Début	Commentaire
36	1	6,527841	41067	
37	1	6,123866	41128	
38	1	5,568392	41185	
39	1	6,74909	41237	
40	1	8,137045	41300	
41	1	9,133785	41376	
42	1	9,59664	41480	
43	1	10,1399	41569	
44	1	10,129328	41664	
45	1	8,89386	41758	
46	1	8,71141	41841	
47	1	9,265434	41924	CF041922 et 23 hors transect
48	1	9,449513	42010	
49	1	4,943834	42098	
50	1	4,498336	42150	
51	1	4,958762	42192	
52	1	5,044738	42238	
53	1	5,145467	42285	
54	1	5,268795	42333	
55	1	5,1701	42382	
56	1	4,518078	42430	
57	1	5,362397	42473	
58	1	5,917988	42523	
59	1	6,005925	42578	
60	1	5,591012	42634	
61	1	4,709871	42686	
62	2	4,850617	42753	
63	2	5,140385	42798	
64	2	5,147598	42846	
65	2	5,34601	42894	
66	2	6,681312	42945	
67	2	6,417947	43007	
68	2	5,063509	43067	
69	2	5,144816	43114	
70	2	5,48373	43162	
71	2	5,58026	43213	
72	2	5,16567	43265	
73	2	4,274503	43313	
74	2	4,406985	43353	
75	2	4,712185	43394	
76	2	4,521879	43438	

Transect	Bloc	Surface (km2)	N° Photo Début	Commentaire
77	2	4,058222	43480	
78	2	4,079726	43518	
79	2	3,738749	43556	
80	2	3,01281	43591	
81	2	2,896964	43619	
82	2	2,901443	43646	
83	2	2,673238	43673	
84	2	2,46497	43698	
85	2	2,452183	43721	
86	2	2,352109	43744	
87	2	2,230402	43767	
88	2	2,573598	43788	
89	2	2,775816	43812	
90	2	2,689502	43838	
91	2	2,016918	43863	
92	2	1,820968	43882	
93	2	1,807057	43899	
94	2	2,042406	43916	
95	2	2,017089	43935	
96	2	1,823735	43954	
97	2	2,283567	43971	Reflets sur vaguelettes sur environ 60% de la surface des 19 photos de 43990 à 44008.
98	2	1,852502	44025	
99	2	1,70274	44042	
100	2	1,705151	44058	
101	2	1,811224	44074	
102	2	1,930919	44091	
103	2	2,242534	44109	
104	2	2,139766	44130	
105	2	1,916157	44150	
106	2	2,248525	44168	
107	2	2,875578	44189	
108	2	3,425702	44216	
109	2	3,314346	44248	
110	2	3,557114	44279	
111	2	3,531323	44312	
112	2	3,233007	44345	
113	2	3,100011	44375	
114	2	2,904211	44404	
115	2	2,672167	44431	
116	2	2,571788	44456	
117	2	2,665675	44480	

Transect	Bloc	Surface (km2)	N° Photo Début	Commentaire
118	2	2,905624	44505	
119	2	5,568639	44532	
120	2	6,060284	44584	Transect de référence
121	2	5,984218	44640	Transect de référence
122	2	5,844676	44696	
123	2	7,172354	44750	
124	2	6,495483	44819	
125	2	3,618618	44879	
126	2	4,741933	44920	
127	2	4,700862	44964	Reflets sur vaguelettes sur environ 60% de la surface des 11 photos de 45013 à 45023.
128	2	5,605299	45054	
129	2	5,898811	45106	
130	2	5,628815	45161	
131	2	5,685482	45213	
132	2	5,942502	45266	
133	2	5,766348	45321	
134	2	5,072678	45375	
135	2	3,755989	45422	
136	2	3,560063	45457	
137	2	4,807814	45490	
138	2	5,071629	45535	
139	2	5,373351	45582	
140	2	5,180138	45632	
141	2	4,937942	45680	
142	2	4,958212	45726	
143	2	5,460036	45772	
144	2	5,830214	45823	
145	2	5,7864	45877	
146	2	5,39747	45931	
147	2	5,268414	45981	
148	2	5,612629	46032	
149	2	5,583064	46084	
150	2	5,300123	46136	
151	2	4,927772	46185	
152	2	5,091247	46231	
153	2	6,440237	46278	
154	2	6,832621	46338	
155	2	6,421452	46401	Reflets sur vaguelettes sur environ 60% de la surface des 4 photos de 46401 à 46404
156	2	6,266783	46461	
157	2	5,678271	46519	

Transect	Bloc	Surface (km2)	N° Photo Début	Commentaire
158	2	6,513396	46581	
159	2	7,807247	46641	
160	2	6,185139	46714	
161	2	4,592743	46771	
162	2	4,193064	46814	
163	2	4,396222	46853	
164	2	4,309563	46894	
165	2	3,852281	46934	
166	2	2,997643	46970	
167	2	2,892077	46998	
168	2	2,907761	47025	
169	2	4,06385	47052	
170	2	5,277276	47090	
171	2	5,136172	47139	
172	2	5,173207	47187	
173	2	5,473385	47235	
174	2	5,651784	46846	
175	2	5,636349	47338	
176	2	5,071076	47391	
177	2	4,493982	47438	Reflets sur vaguelettes sur environ 30% de la surface des 19 photos de 47481 à 47499
178	3	7,749	55977	
179	3	7,877	56043	
180	3	8,375	56115	
181	3	8,789	56192	
182	3	7,488	56265	
183	3	6,821	56329	
184	3	6,504	56389	
185	3	6,497	56445	
186	3	6,696	56502	
187	3	6,329	56559	fin de vol à CF056613
188	3	6,75	55872	
189	3	7,094	55812	
190	3	6,419	55755	
191	3	6,938	55690	
192	3	8,613	55612	
193	3	8,236	55540	
194	3	7,576	55473	
195	3	6,522	55418	
196	3	5,742	55369	
197	3	6,148	55318	
198	3	6,45	55263	

Transect	Bloc	Surface (km2)	N° Photo Début	Commentaire
199	3	6,605	55205	
200	3	7,018	55140	
201	3	7,262	55078	
202	3	7,099	55009	
203	3	7,031	54949	
204	3	7,616	54884	
205	3	6,923	54824	
206	3	6,89	54764	
207	3	8,062	54700	
208	3	8,249	54625	
209	3	8,301	54551	
210	3	8,275	54476	
211	3	11,774	54384	
212	3	11,147	54278	
213	3	11,142	54178	
214	3	10,676	54074	Reflets sur vaguelettes environ 50% de la surface des 90 photos de 54082 à 54171
215	3	10,624	53980	
216	3	9,767	53890	
217	3	9,595	53812	
218	3	7,647	53746	
219	3	10,394	53665	
220	3	10,448	53571	
221	3	11,457	53471	
222	3	11,27	53367	
223	3	9,58	53279	
224	3	10,34	53193	
225	3	10,222	53098	
226	3	10,626	53000	
227	3	10,572	52901	
228	3	10,625	52803	Boucle île Bélep: CF052178 à CF052802
229	4	10,93	49019	
230	4	11,58	49119	Présence de nuages sur plus de 25% de la surface des 5 photos 49046, 49160 et 161, 49172 et 173.
231	4	11,25	49219	Présence de nuages sur plus de 25% de la surface des 5 photos 49233, 49279, 49285, 49298 et 49299.
232	4	12,01	49324	Présence de nuages sur plus de 25% de la surface des 4 photos 49356 à 58 et 49371
233	4	11,99	49433	Présence de nuages sur 60% de la surface CF049500
234	4	13,09	49546	
235	4	13,31	49666	Présence de nuages sur plus de 25% de la surface des 6 photos 49720 à 24 et 49752.
236	4	13,28	49790	Reflets sur vaguelettes environ 50% de la surface des 5 photos de 49790 à 94

Transect	Bloc	Surface (km2)	N° Photo Début	Commentaire
237	4	13,22	49915	
238	4	13,16	50040	Reflets sur vaguelettes environ 50% de la surface des 5 photos de 50040 à 44
239	4	13,07	50163	
240	4	13,03	50284	
241	4	12,33	50402	
242	4	12,63	50516	
243	4	12,64	50638	
244	4	12,54	50759	CF050755 à 58 hors transect
245	4	12,72	50871	
246	4	12,45	50993	
247	4	12,33	51109	
248	4	11,79	51226	
249	4	10,71	51332	Embardée hors transect de CF051344 à 54
250	4	8,19	51426	
251	4	4,86	51477	
252	4	5,14	51515	Gros effet spéculaire (25%) sur CF051515
253	4	5,48	51554	
254	4	5,11	51597	
255	4	5,1	51640	à 677 puis hors transect (Gros effet spéculaire (25%) sur CF051686)
256	4	4,69	51687	
257	4	4,3	51723	
258	4	4,21	51762	Gros effet spéculaire sur CF051762 (25%) et 63 (50%)
259	4	4,27	51795	Gros effet spéculaire sur CF051832 (40%)
260	4	4,22	51833	Gros effet spéculaire sur CF051833 et 34 (40%)
261	4	4,1	51866	
262	4	4,3	51899	
263	4	4,18	51932	
264	4	4,57	51967	Gros effet spéculaire sur CF051967 (40%)
265	4	4,63	52002	à 52036 puis hors transect (Gros effet spéculaire sur CF05045 (40%))
266	4	4,41	52046	Gros effet spéculaire sur CF052046 (40%)
267	4	4,31	52080	Gros effet spéculaire sur CF052118 (40%)
268	4	4	52119	Gros effet spéculaire sur CF052119 (40%) fin vol à 52150
269	4	3,85	48946	CF048976 à CF049009 sont hors transect, Reflets sur vaguelettes sur environ 50% de la surface des 2 photos CF048976 et CF048978
270	4	3,61	48917	
271	4	3,53	48889	
272	4	3,78	48860	
273	4	3,73	48831	
274	4	3,65	48811	

Transect	Bloc	Surface (km2)	N° Photo Début	Commentaire
275	4	2,44	48793	
276	4	2,48	48779	
277	4	2,59	48763	
278	4	2,6	48746	
279	4	2,39	48730	
280	4	5,94	48683	
281	4	6,73	48624	
282	4	6,93	48563	
283	4	6,54	48505	
284	4	5,91	48457	
285	4	5,8	48408	CF048407 est hors transect
286	4	8,87	48331	
287	4	9,47	48245	
288	4	9,85	48158	
289	4	9,93	48069	
290	4	9,94	47981	
291	4	9,58	47897	
292	4	8,66	47822	
293	4	7,91	47756	
294	4	6,62	47701	
295	4	5,63	47657	
296	4	4,02	46629	
297	4	3,91	47602	
298	4	4,56	47567	
299	4	4,71	47529	

Tableau 25: Surface échantillonnée par les photos pour chaque transect avec numéro de la photo du début du transect et quelques commentaires

7.9. Cartes de distribution des dugongs par bloc

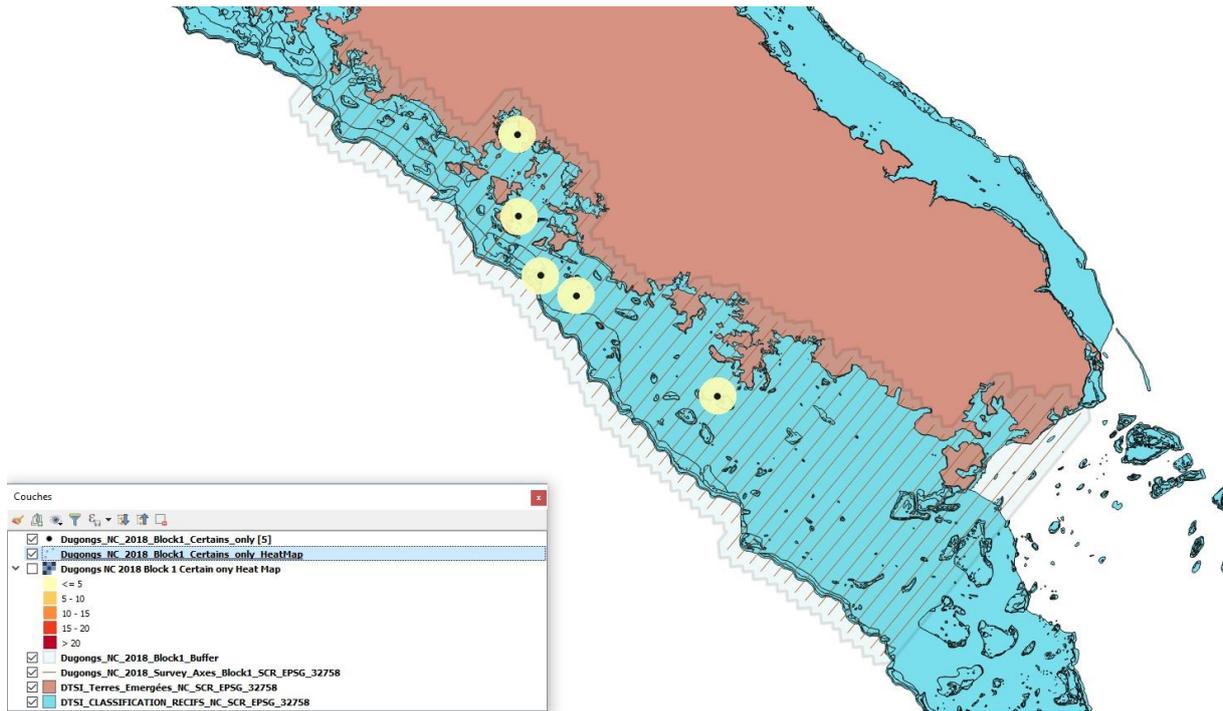


Figure 23: Carte de distribution des dugongs jugés “certains” (n=5) dans le bloc 1

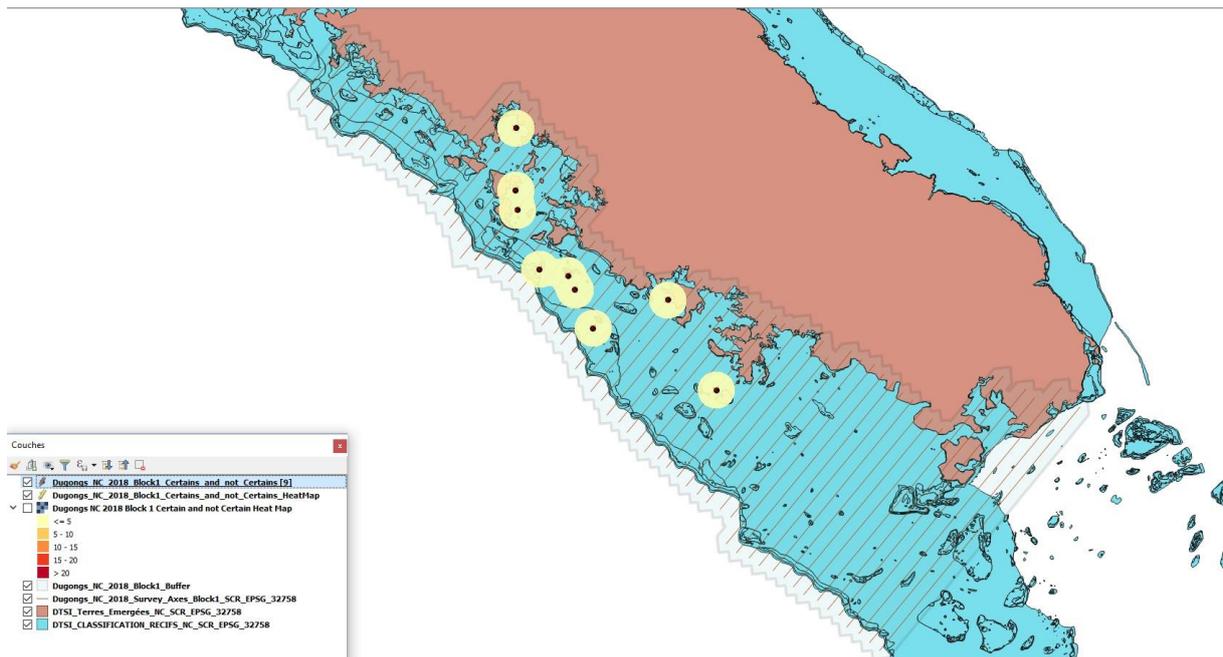


Figure 24: Carte de distribution des dugongs jugés “certains” (n=5) et “incertains” (n=4) dans le bloc 1

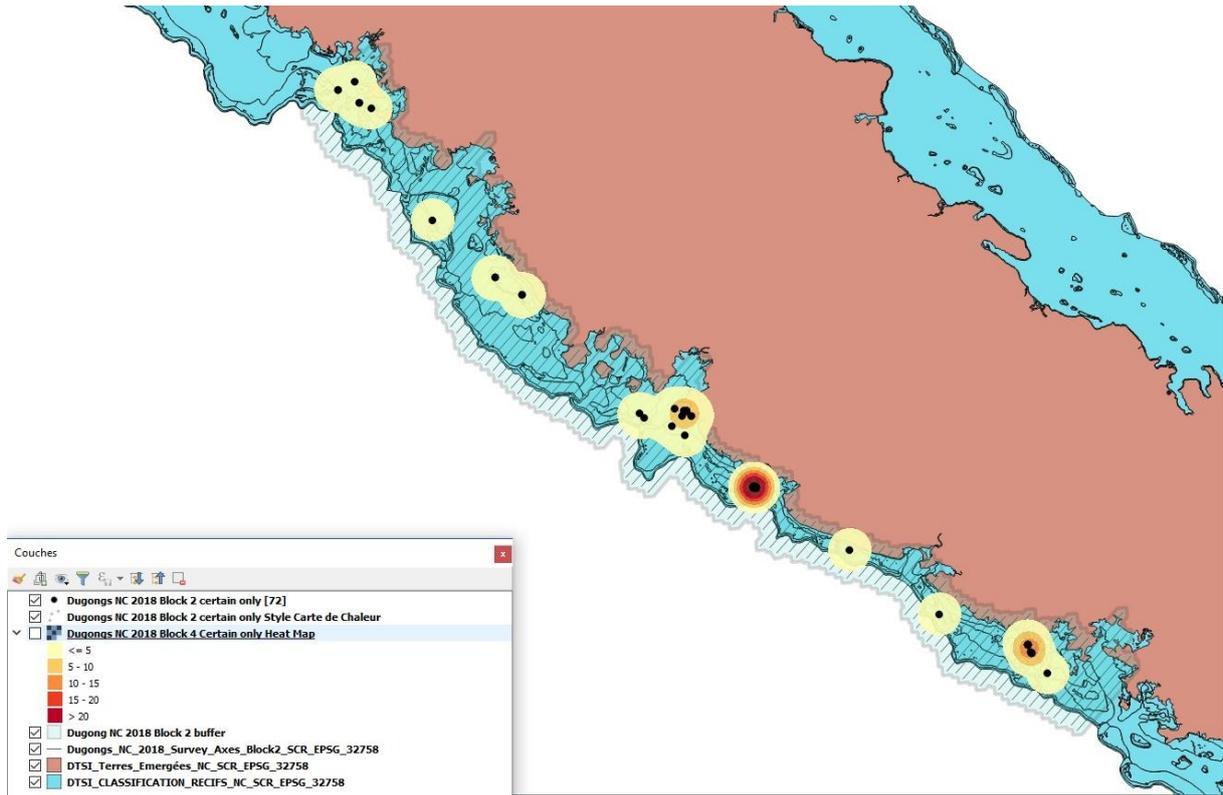


Figure 25: Carte de distribution des dugongs jugés “certains” (n=72) dans le bloc 2

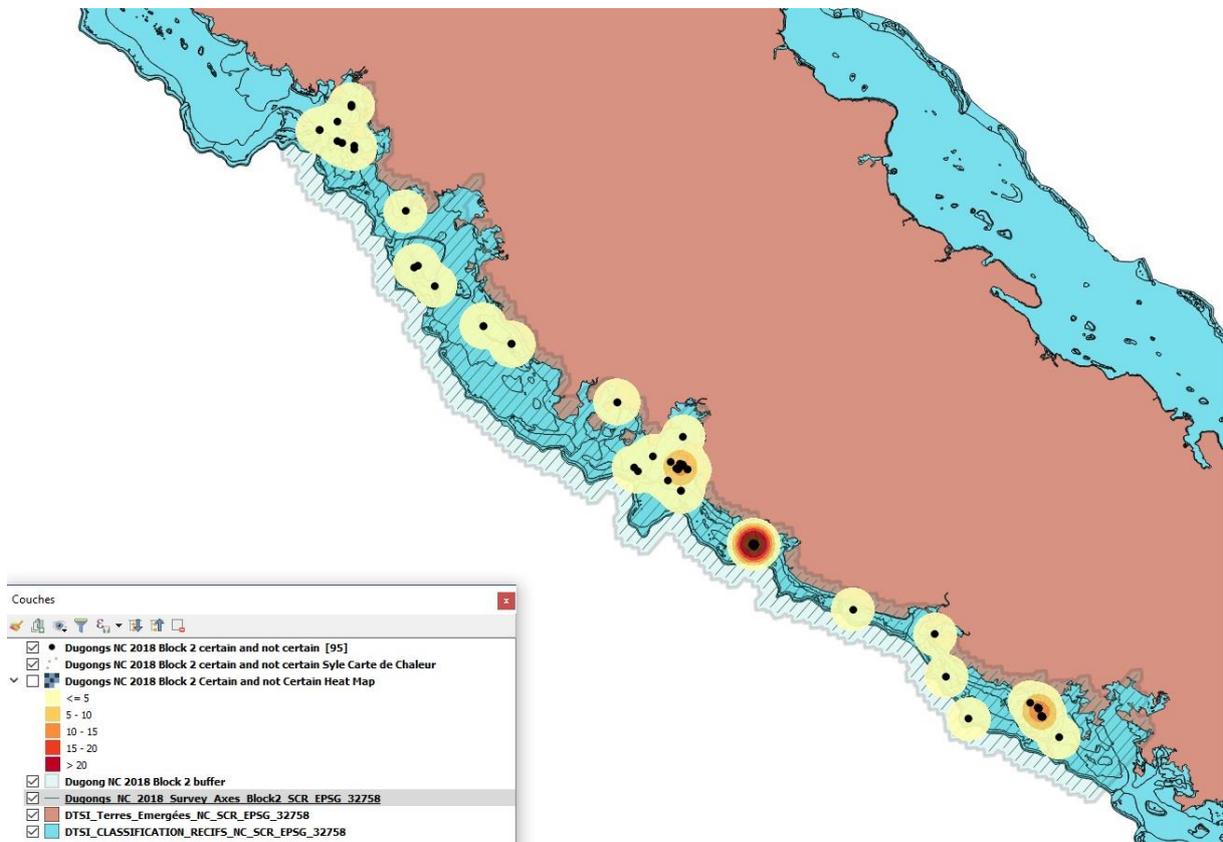


Figure 26: Carte de distribution des dugongs jugés “certains” (n=72) et “incertains” (n=23) dans le bloc 2

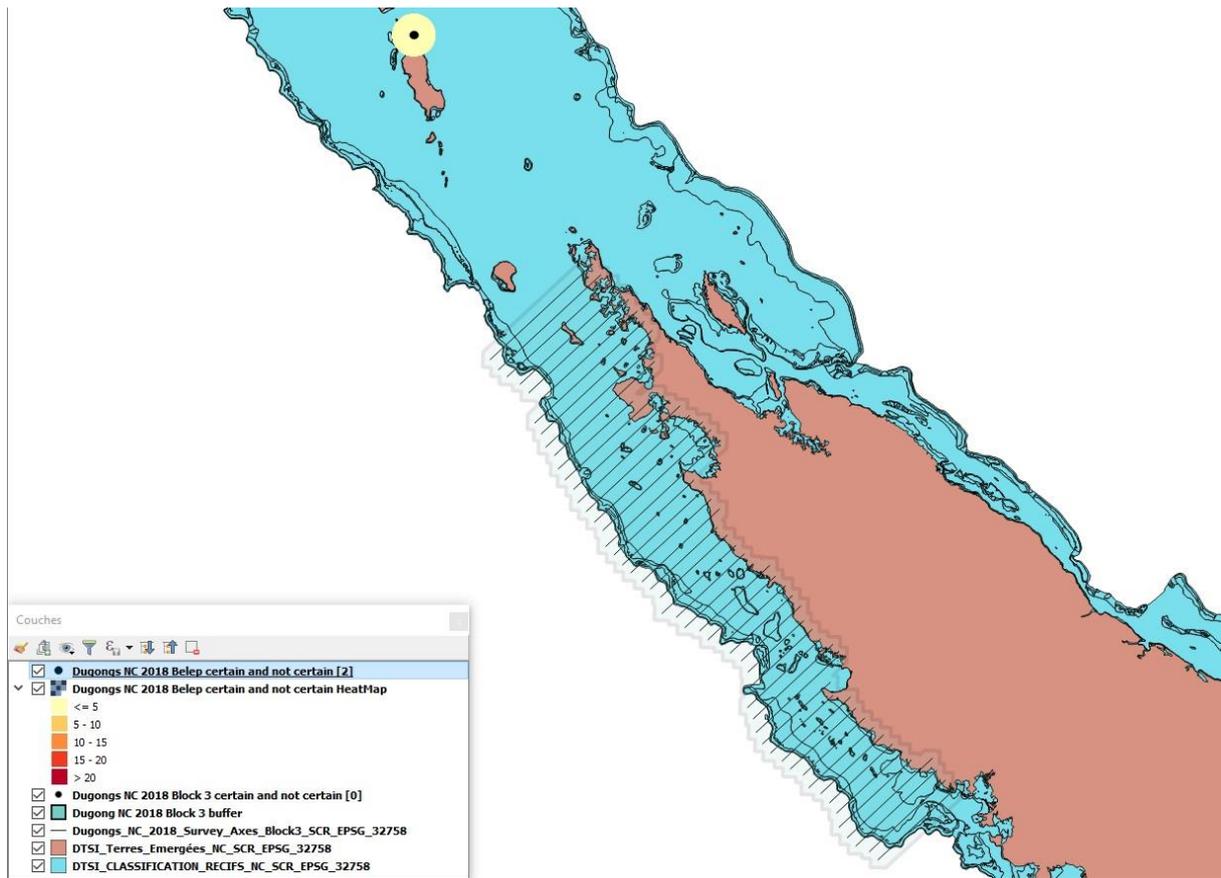


Figure 27: Carte de distribution des dugongs jugés “certains” (n=0) et “incertains” (n=2) dans le bloc 6

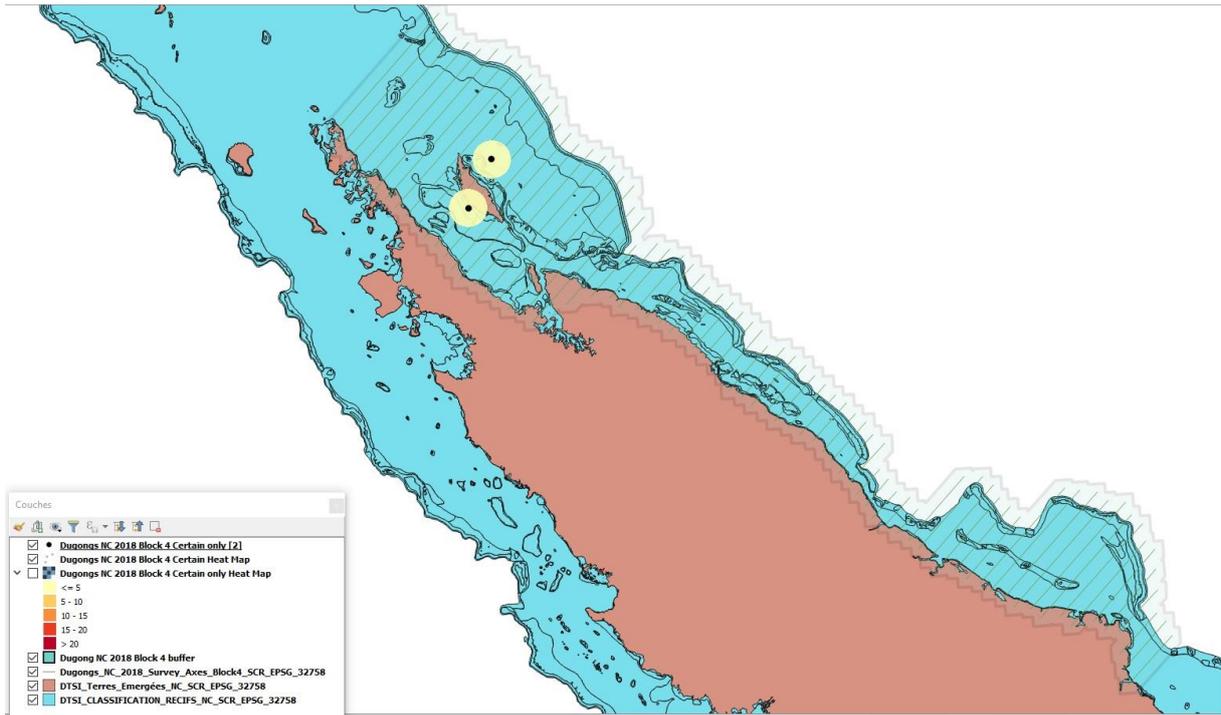


Figure 28: Carte de distribution des dugongs jugés “certains” (n=2) dans le bloc 4

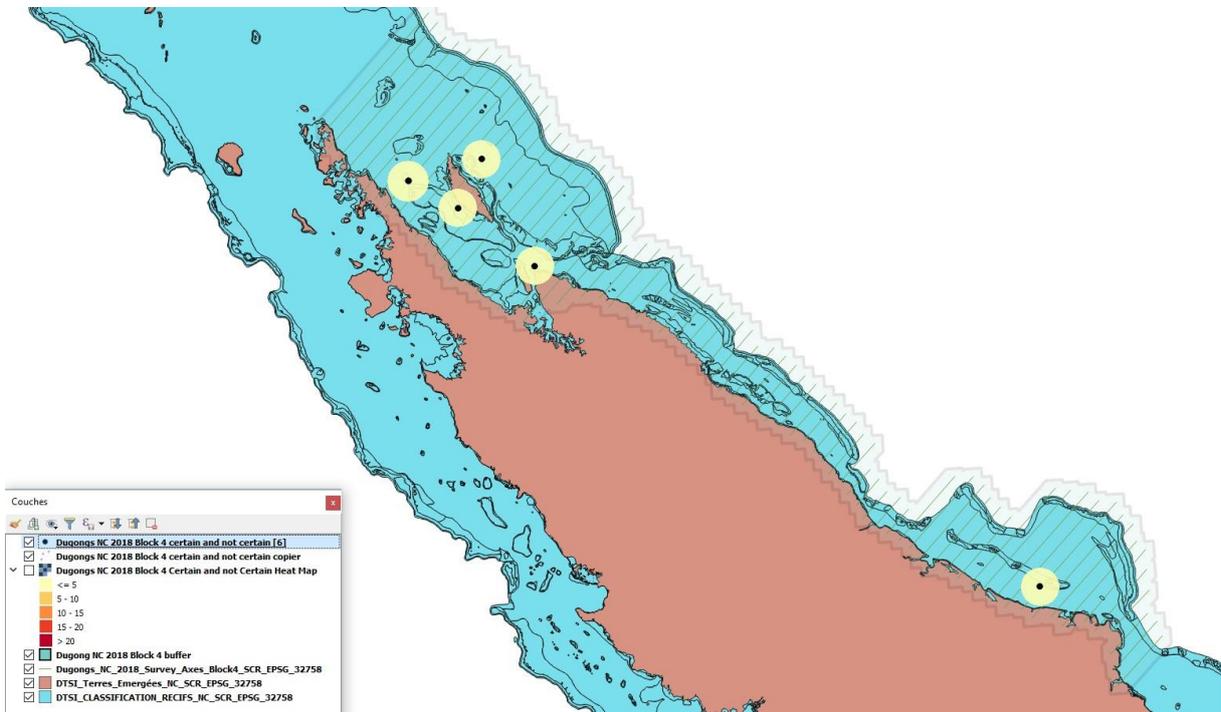


Figure 29: Carte de distribution des dugongs jugés “certains” (n=2) et “incertains” (n=4) dans le bloc 4

7.10. Récapitulatif du nombre de groupes et de dugongs par campagne de survols aériens

	N° bloc	jui n- 03	janv -08	juin- 11	nov- 11	juin- 12	nov-12	nov- 18	nov-18 with uncertain dugongs
Nombre de groupes observés	Block 1	31	20	14	14	18	16	5	9
	Block 2	18	3	16	9	16	18	36	58
	Block 3	19	4	8	8	16	15	0	0
	Block 4	11	7	6	5	7	4	2	5
	Block 6							0	2
	Total	79	34	44	36	57	53	43	72

	N° bloc	jui n- 03	jan v- 08	juin- 11	nov- 11	juin- 12	nov-12	nov- 18	nov-18 with uncertain dugongs
Nombre d'individ us de Dugongs dénombr és	Block 1	52	27	14	14	24	16	5	9
	Block 2	30	4	26	9	21	26	72	95
	Block 3	23	9	14	11	25	18	0	0
	Block 4	17	10	7	8	10	4	2	6
	Block 6							0	2
	Total	122	50	61	42	80	64	79	112

Tableau 26: Récapitulatif du nombre de groupes de dugongs et du nombre de dugongs par bloc et par campagne (sans/avec les détections jugées “dugongs incertains” pour la campagne 2018)

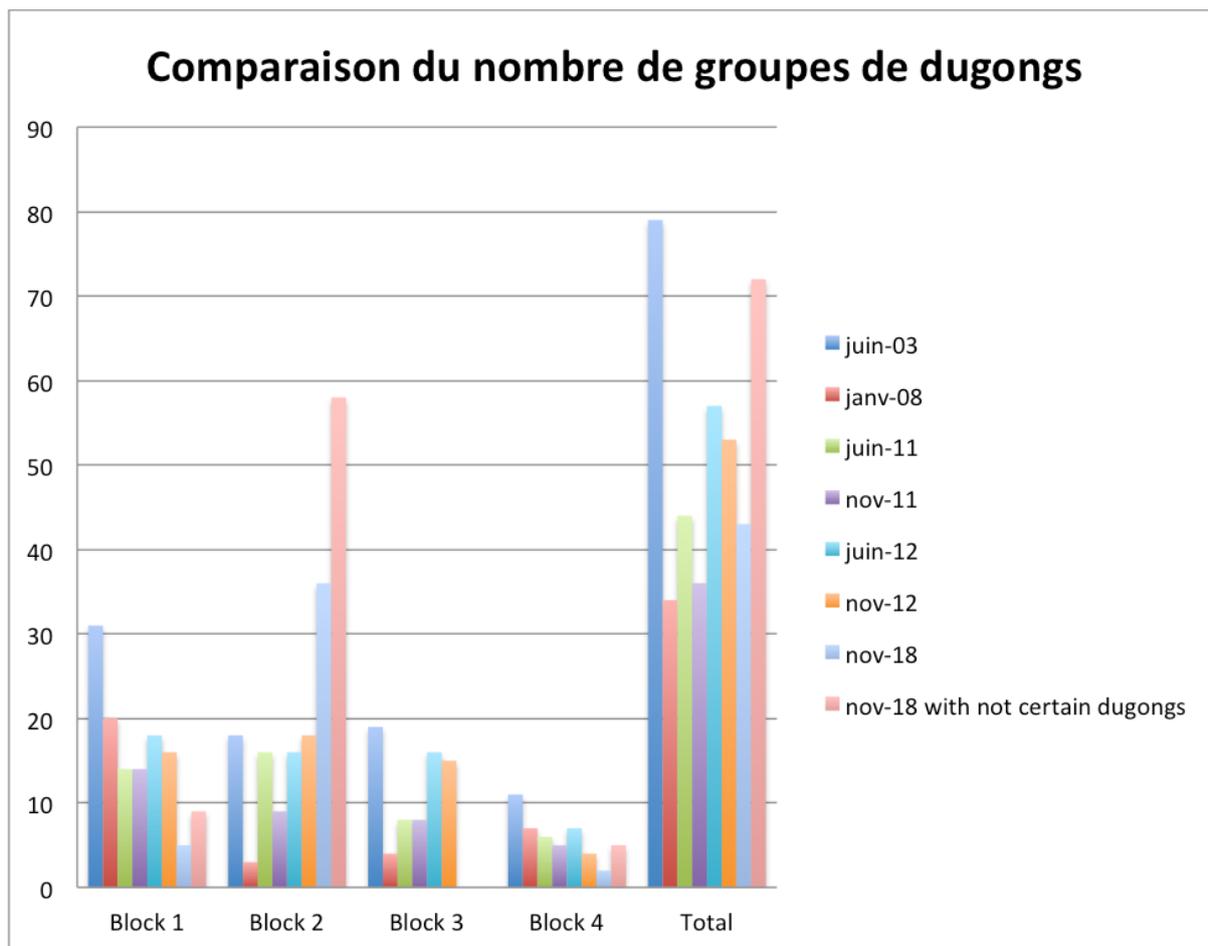


Figure 30: Récapitulatif du nombre de dugongs par bloc et par campagne de survols aériens (sans/avec les détections jugées “dugongs incertains” pour la campagne 2018)

7.11. Récapitulatif des résultats de calcul de l'abondance relative des dugongs lors des différentes campagnes de survols aériens

		juin-03	janv-08	juin-11	nov-11	juin-12	nov-12	nov-18	nov-18 with Harmony confidence score*
Pop Est.	Block 1	919	435	250	243	417	261	65	68
	Block 2	401		220	75	203	225	301	312
	Block 3	380		233	213	484	338	0	0
	Block 4	326	170	107	117	123	73	0	0
	Total	2026	605	810	648	1227	897	366	380

Tableau 27 : Récapitulatif des résultats de calcul de l'abondance relative des dugongs lors des différentes campagnes de survols aériens

* = avec prise en compte du score de confiance fourni par le logiciel Harmony

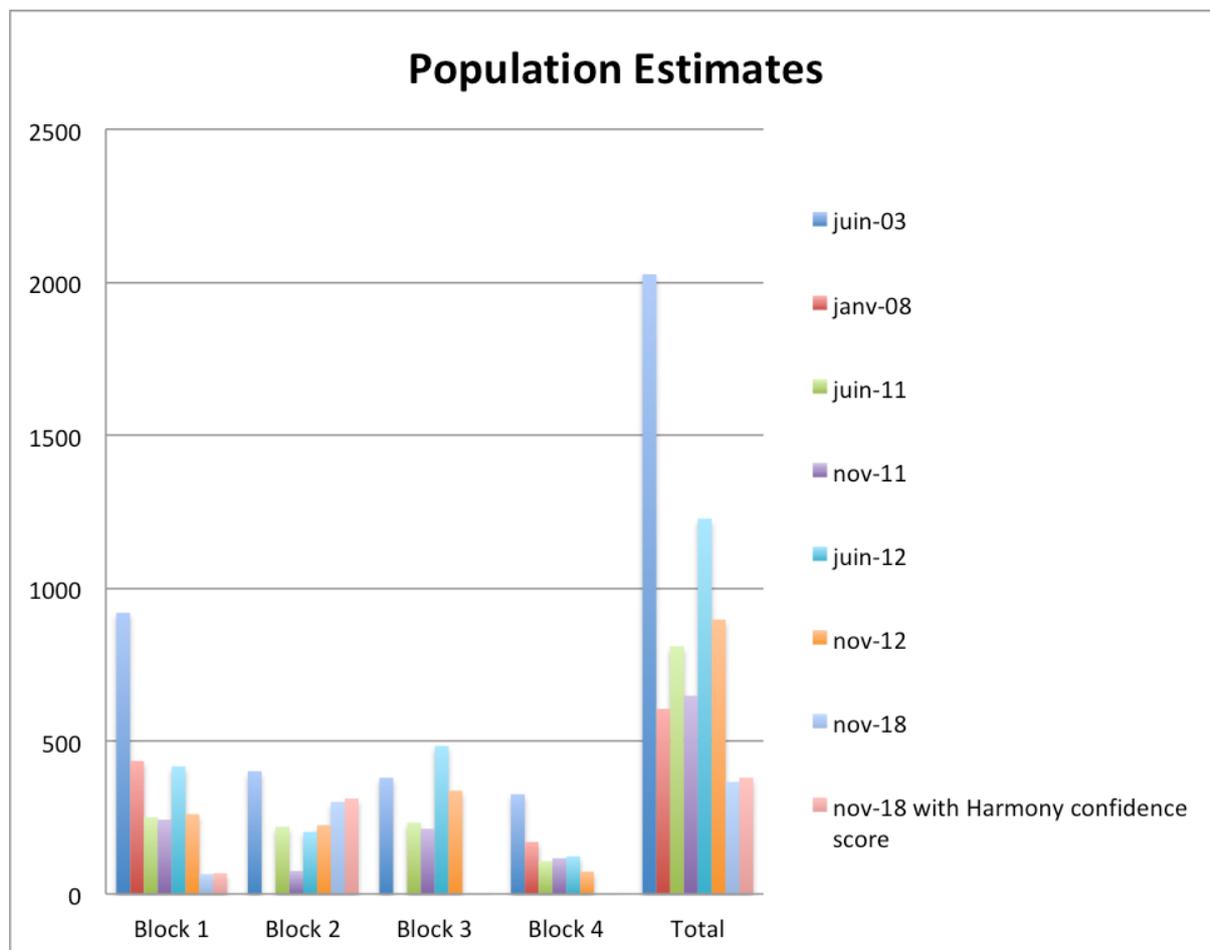


Figure 31: Graphique récapitulatif des résultats d'abondance relative des dugongs lors des différentes campagnes de survols aériens

7.12. Récapitulatif de la densité relative des dugongs lors des différentes campagnes de survols aériens

		juin-03	janv-08	juin-11	nov-11	juin-12	nov-12	nov-18	nov-18 with Harmony confidence score*
Pop Est./km2	Block 1	0,28	0,13	0,08	0,07	0,13	0,08	0,02	0,02
	Block 2	0,30	0,00	0,16	0,06	0,15	0,17	0,22	0,23
	Block 3	0,18	0,00	0,11	0,10	0,23	0,16	0,00	0,00
	Block 4	0,13	0,07	0,04	0,05	0,05	0,03	0,00	0,00
	Moyenne	0,22	0,05	0,10	0,07	0,14	0,11	0,06	0,06

Tableau 28 : Récapitulatif de la densité relative des dugongs lors des différentes campagnes de survols aériens

* = avec prise en compte du score de confiance fourni par le logiciel Harmony

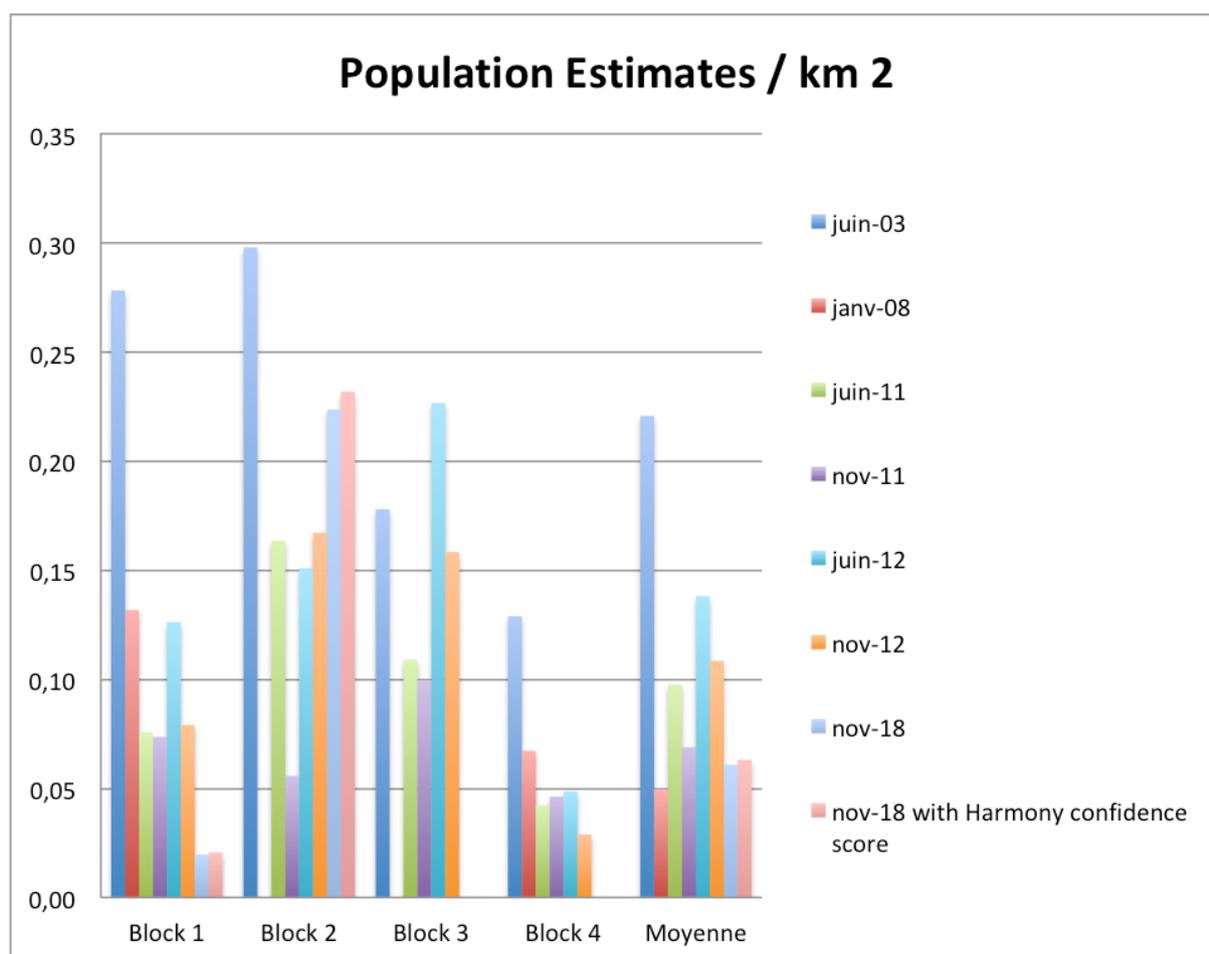


Figure 32: Graphique récapitulatif des résultats de densité relative des dugongs des différentes campagnes de survols aériens

Contact:

L'Avion Jaune
bruno.roux@lavionjaune.fr
info@lavionjaune.fr

WIPSEA
gwenael.duclos@wipsea.com
contact@wipsea.com

Vertical Passion
marc-henry.delrieu@siras.nc

Pour tout complément d'information
Conservatoire d'espaces naturels de Nouvelle-Calédonie
Pôle patrimoine marin
Plan d'actions dugong
assistantppm@cen.nc
communication@cen.nc
BP 10 - 98860 Koné