

DEMARCHE INNOVANTE D'EXPERTISE VIDEO DES REJETS AU WHARF DE LA SALIE



Rapport n°CI-CR-06 - rev00
Mars 2017

INFORMATIONS GENERALES SUR LE DOCUMENT

Contact	CASAGEC INGENIERIE 18 rue Maryse Bastié Z.A. de Maignon 64600 Anglet - FRANCE Tel : + 33 5 59 45 11 03 Web : http://www.casagec.fr
Titre du rapport	Démarche innovante d'expertise vidéo des rejets au Wharf de la Salie
Maître d'Ouvrage	SIBA
Auteur(s)	Dailloux Damien
Responsable du projet	Dailloux Damien
Rapport n°	CI-CR-06 – rev00

SUIVI DU DOCUMENT

Rev	Date	Description	Rédigé par	Approuvé par
.				
00	09/05/2017	Rédaction initiale	DDX	DRY
01				
02				

TABLE DES MATIERES

1.	Contexte et objet du marché	4
1.1.	Contexte	4
1.2.	Objet de l'étude.....	4
1.3.	Organisation du document.....	5
2.	Etudes techniques inhérentes aux contraintes du site et installation	6
2.1.	Système vidéo initial.....	6
2.2.	Sélection du nouveau matériel.....	7
2.2.1.	Caméra Dôme IP PTZ.....	7
2.2.2.	Système de communication	7
2.3.	Installation sur site	9
2.3.1.	Choix de l'alimentation	9
2.3.2.	Installation sur site et paramètres d'acquisition.....	9
2.3.3.	Données acquises.....	10
3.	Adaptation des outils CASAGEC	11
3.1.1.	Transfert automatisé des séquences	11
3.1.2.	Génération des images « snapshot » et « timex »	11
3.1.3.	Nomenclature et stockage des données	12
4.	Développement d'algorithme de traitement d'images spécifique	14
4.1.	Code couleur.....	15
4.1.1.	Le codage RGB.....	15
4.1.2.	Le codage HSV	15
4.1.3.	Le codage HSL.....	16
4.2.	Correction de la variation d'intensité lumineuse	16
4.3.	Différentiation des caractéristiques optiques de surface	17
4.4.	Indicateur couleur de l'eau.....	21
4.5.	Indicateur présence de mousse.....	23
4.5.1.	Distribution temporelle.....	23
4.5.2.	Distribution spatiale	24
5.	Conclusions et perspectives.....	25

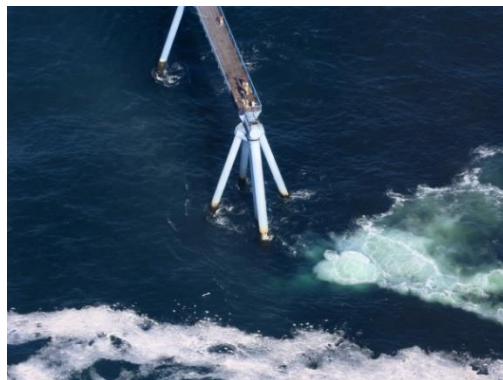
TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Exemple de déploiement du système vidéo initial sur le littoral d'Hendaye Plage. 6 Caméra sont nécessaires pour couvrir un angle de 180°.	6
Figure 2 : Schéma de fonctionnement du système de communication et de transfert 4G.	8
Figure 3 : Champ de vision observé depuis le site d'installation.	9
Figure 4 : Design et fixation du support de la caméra à l'extrémité du Wharf	10
Figure 5 : Exemple d'images « snapshot » (colonne de gauche) et d'images « timex » correspondantes (colonne de droite).	12
Figure 6 : Technique de génération des images « snapshot » et « timex » à partir de la séquence brute.	12
Figure 7 : Arborescence de stockage des données.	13
Figure 8 : Échantillon d'images « snapshot » de la position c1 en conditions variées.	14
Figure 9 : Codage RGB	15
Figure 10 : Codage HSV	15
Figure 11 : Codage HSV	16
Figure 12 : Extraction des pixels sur une zone d'intérêt au niveau de la descente de la conduite (a), et couleur moyenne résultant du lissage par les valeurs de luminosité (b).	16
Figure 13 : Représentation des résultats de la variation du code RGB (a), des valeurs de luminosité (b), et correction des variations d'intensité lumineuse sur le code RGB (c) au niveau de la zone d'intérêt de la conduite.	17
Figure 14 : Exemple des différents groupes utilisés par l'algorithme.	19
Figure 15 : Schéma de fonctionnement de l'algorithme de segmentation des pixels.	20
Figure 16 : Extraction des pixels « eau de mer », (a) image d'origine, et (b) répartition des pixels correspondants à la classe « eau de mer ».	21
Figure 17 : Évolution du code RGB de l'eau de mer du set d'images dans le temps.	21
Figure 18 : Extraction de la mousse de surface, (a) image d'origine, (b) répartition des pixels de la classe « mousse de surface ».	23
Figure 19 : Suivi temporel de la mousse de surface. (a) Pourcentage d'occupation mensuelle, (b) journalière, et (c) horaire.	24

1. CONTEXTE ET OBJET DU MARCHE

1.1. CONTEXTE

Le Wharf de la Salie est un émissaire aérien, monté sur pilotis, rejetant en mer les eaux traitées du Bassin d'Arcachon. Avant 2007, une tâche brunâtre marquait le point de déversement du Wharf et évoluait au gré des courants marins. Cette coloration brune était due à l'utilisation par les stations d'épuration de sulfate de fer, employé pour ses fonctions coagulantes. Bien que le sulfate de fer ait été remplacé par le polychlorure d'aluminium qui ne génère pas de coloration, des épisodes ponctuels de coloration peuvent être observés exceptionnellement.



Par ailleurs, des mousses sont couramment présentes en sortie d'émissaire. L'origine de ces mousses est principalement liée à la chute d'eau. Ce phénomène naturel de mousse peut également être amplifié par la présence dans l'eau de tensio-actifs allochtones. Ces mousses constituent un marqueur visible du panache du Wharf dont la dynamique est liée au vent, à la marée et aux vagues.

Dans le cadre de la délégation de service public de l'assainissement collectif, la société Eloa doit réaliser l'installation de caméras vidéo sur le Wharf de la Salie pour visualiser la mousse et la coloration des rejets.

Depuis 2005, CASAGEC développe des applications innovantes de suivi vidéo des environnements côtiers. Le principe de la vidéo quantification appliquée au suivi des environnements côtiers est basé sur une technique de photogrammétrie qui permet de transformer une « image oblique brute » en une « image métrique plan ». L'analyse des images permet l'étude d'une multitude de processus dont la dynamique des panaches ou de la couleur de l'eau de surface.

1.2. OBJET DE L'ETUDE

Cette étude porte d'une part sur l'amélioration des connaissances de la dynamique du panache à proximité du Wharf et d'autre part sur la détection des événements de coloration des rejets.

Plusieurs objectifs sont poursuivis :

- Avoir une bonne connaissance de la dynamique du panache à proximité du Wharf sous l'action du vent, de la marée et de la houle, notamment en fonction de la morphodynamique des bancs de sable.
- Développer des indicateurs pertinents de la couleur de l'eau en vue de disposer « d'alarmes » permettant d'appréhender l'origine potentielle de ces phénomènes.
- Créer une base de données qui servira de support aux études et aménagements futurs.

La présente étude est décomposée en six parties :

- Partie 1 : Etudes techniques inhérentes aux contraintes du site et installation du système.
- Partie 2 : Adaptation des outils CASAGEC à la caméra installée (génération d'images moyennées, ortho-rectification, horodatage des données, etc.).

- Partie 3 : Développement d'algorithmes de traitement d'images spécifiques.
- Partie 4 : Exploitation de la base de données.
- Partie 5 : Automatisation d'un système d'alarme couleur de l'eau et présence de mousse.
- Partie 6 : Livrables, analyse des résultats, cartographies et rapports.

Les difficultés rencontrées sur les premières années du projet, notamment les problèmes liés à l'alimentation électrique, ont limité le développement d'outils de détection opérationnels en raison d'une durée trop faible d'acquisition d'images.

Le présent document est donc consacré aux parties 1 à 3 de l'étude initiale.

1.3. ORGANISATION DU DOCUMENT

Ce document constitue la restitution des travaux réalisés depuis le démarrage du projet. Il permet d'établir un état des lieux techniques concernant :

- La mise en opération du système vidéo : adaptation aux contraintes du site, installation sur site, alimentation électrique, etc.
- L'adaptation des outils du système vidéo développés par CASAGEC INGENIERIE depuis 2007 ;
- L'acquisition et le traitement des images : développement des algorithmes de qualification de la couleur de l'eau, de détection des mousses, etc.

In fine, les perspectives de recherche et développement sont abordées dans la conclusion.

2. ETUDES TECHNIQUES INHERENTES AUX CONTRAINTES DU SITE ET INSTALLATION

2.1. SYSTEME VIDEO INITIAL

Fort d'une expérience de plus de 10 ans de développement, d'utilisation de système vidéo de suivi du littoral et de traitement d'images numériques, CASAGEC INGENIERIE dispose d'un solide retour d'expérience notamment en termes d'installation dans les environnements à fortes contraintes.

Le système vidéo utilisé en amont de cette étude est basé sur l'utilisation de caméras firewire à focales fixes. L'observation panoramique du littoral sur un angle d'environ 180° est obtenue par l'addition de 4 à 6 caméras (en fonction des focales utilisées) connectées à un ordinateur de contrôle permettant de gérer les paramètres d'acquisition et de transfert des images.

Par ailleurs, l'utilisation de l'interface firewire, bien qu'aujourd'hui obsolète, a constitué la meilleure interface « Plug and Play » pour réaliser de l'acquisition vidéo entre les années 1990 et 2010 en raison d'un flux établi à 400 puis 800 Mb/s (IEEE 1394a – IEEE 1394b). Cette configuration de système vidéo est encore utilisée aujourd'hui par différents fournisseurs (ARGUS, SIRENA, HORUS, etc.).



Figure 1 : Exemple de déploiement du système vidéo initial sur le littoral d'Hendaye Plage. 6 Caméras sont nécessaires pour couvrir un angle de 180°.

Les principales motivations qui ont conduit à la modification complète du système vidéo existant sont les suivantes :

- Les contraintes d'installation du site du Wharf de la Salie : connexion internet, contrainte d'installation technique (peu de place, difficulté d'accès), vision à 300°.
- L'essor important du développement de support vidéo de type webcam à haute résolution, permettant des rotations sur le plan vertical et horizontal, et l'utilisation de focales variables.

2.2. SELECTION DU NOUVEAU MATERIEL

2.2.1. Caméra Dôme IP PTZ

Plusieurs critères ont été définis pour sélectionner la caméra :

- Résolution : la résolution en pixel du capteur optique embarqué de la caméra doit être importante pour améliorer la précision du système (résolution HD). Néanmoins au regard des problématiques liées au transfert de données et à la disponibilité du réseau internet, la résolution ne doit pas excéder le format 720p.
- Rotation : la caméra doit être capable de s'orienter à la demande selon l'axe horizontal et vertical.
- Zoom : la caméra doit être montée d'une lentille optique à iris variable de manière à pouvoir couvrir la plus large gamme de zoom.
- Qualité de positionnement : La définition de plusieurs scènes définies en fonction des angles d'orientations verticaux et horizontaux et d'un niveau de zoom doit être précise et de l'ordre du 10^{ième} de degré.
- Type de connexion : l'utilisation d'une connexion Ethernet sera privilégiée au regard de son flux de transfert.
- Norme d'étanchéité : la caméra doit répondre à la norme IP66 au minimum.
- Paramètre d'acquisition : la caméra doit permettre de définir plusieurs positions, de définir un temps d'acquisition par position, et de lancer un « tour de garde » sur les positions définies à une fréquence donnée (10 minutes, 30 minutes, 1 heure, etc.).
- Images par seconde : la caméra doit permettre d'acquérir des données à une fréquence minimale de 2 images par seconde.
- Stockage et transfert : la caméra doit être capable de stocker au moins temporairement l'équivalent d'une semaine de donnée et doit être compatible au protocole de transfert de données par FTP.
- Alimentation électrique : la caméra doit pouvoir être alimentée par le protocole d'alimentation PoE (Power Over Internet) dans le but de limiter le nombre de câbles à tirer sur le site d'étude.

Au regard de ces nombreux critères, plusieurs caméras ont été testées. Un benchmark auprès de 6 constructeurs a permis de sélectionner la caméra Dôme AXIS Q6044-E qui répond à l'ensemble des paramètres précités. L'ensemble des caractéristiques techniques de la caméra est présenté en Annexe.

2.2.2. Système de communication

Dans le but de d'assurer la gestion à distance de la caméra et le transfert des données acquises sur site, et au regard de l'impossibilité d'utiliser le réseau ADSL sur le site du Wharf, il a été nécessaire de mettre en place une solution opérationnelle à partir de la technologie LTE 4G.

Une solution M2M (machine to machine) clé en main proposée par Orange aurait permis de répondre aux attentes du projet. L'IP fixe proposée par ce type de système permet une connexion à distance et des gestions de flux optimisés. Néanmoins les coûts de fonctionnement pour un flux d'environ 15Go par mois s'avèrent très élevés et ont amené à utiliser un autre type de technologie.

Le choix a été porté sur une carte SIM classique (sans IP fixe) qui permet d'accéder à des taux de transfert important pour un faible coût. Le système d'accès à distance a été mis en place selon le protocole suivant (Figure 2) :

- Un routeur 4G « classique » muni d'une carte SIM (plusieurs opérateurs ont été testés, il n'existe pas de différence notable) est installé sur site et relié à la caméra.
- En raison de nombreuses coupures réseau aléatoires engendrées par l'opérateur téléphonique, il a été nécessaire de développer un rupteur IP. Ce rupteur IP est constitué d'un Raspberry Pi monté d'une carte GPIO permettant de réaliser un redémarrage électrique du routeur 4G lorsqu'une perte de réseau est rencontrée.
- Un tunnel VPN est mis en place afin d'accéder à distance au Raspberry Pi et à l'ensemble caméra/routeur depuis un serveur OpenVPN/Proxy.

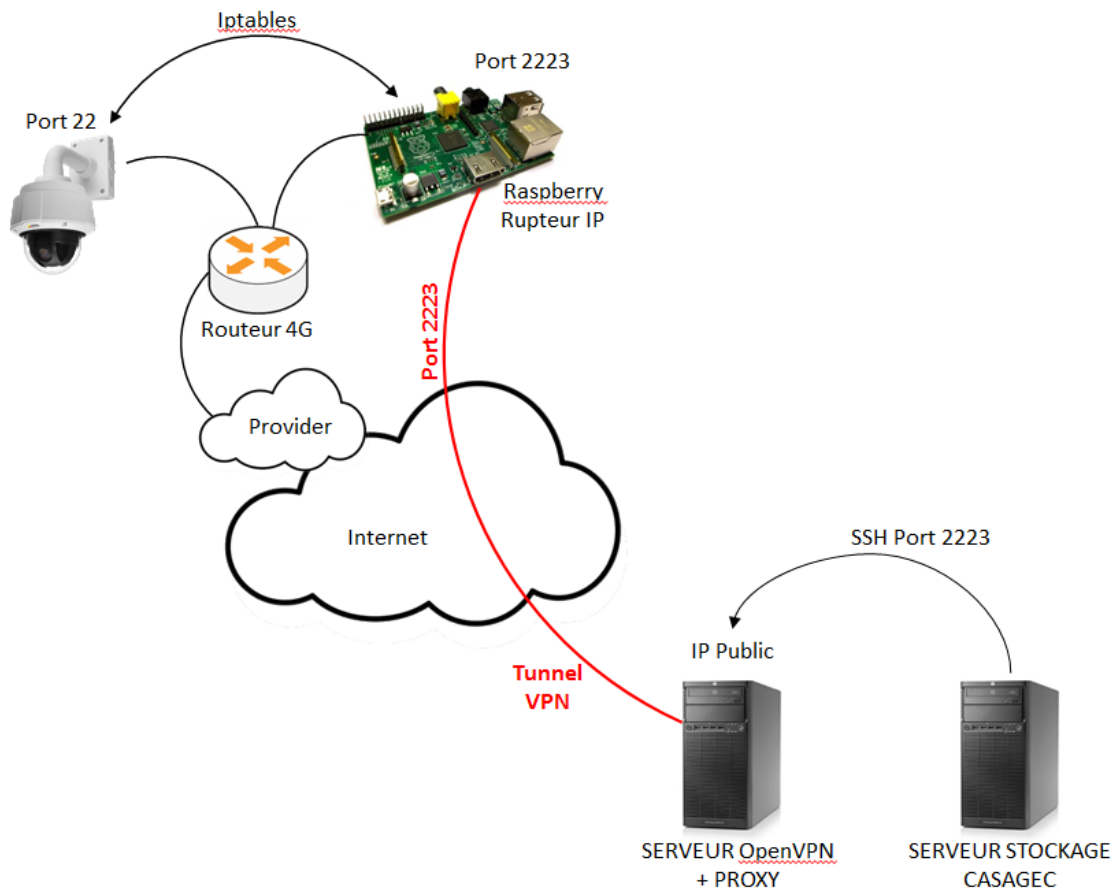


Figure 2 : Schéma de fonctionnement du système de communication et de transfert 4G.

2.3. INSTALLATION SUR SITE

2.3.1. Choix de l'alimentation

Les contraintes liées au site d'installation ont limité les possibilités d'alimentation électrique du système. Le premier choix a été porté sur une alimentation produite par une turbine hydraulique placée à l'extrémité de la conduite juste avant la descente. Pour pallier aux dysfonctionnements de la turbine, un système d'alimentation par panneau photovoltaïque a été mis en place. Le système photovoltaïque a été dimensionné pour assurer une alimentation de secours. Une alimentation constante du système par panneau photovoltaïque aurait nécessité la mise en place d'une surface trop importante de panneaux, non adapté au site d'installation.

Au regard des nombreux dysfonctionnements rencontrés, et suite au vol de l'intégralité du système photovoltaïque, un câble d'alimentation 220V a finalement été mis en place entre la chambre à vannes et la caméra sur un linéaire d'environ 800m. Cette dernière installation permet une alimentation stable sans interruption.

Tableau 1 : Synthèse du déroulement de l'installation et de l'acquisition vidéo

Date	Evènements
Sep. À Oct. 2014	Visites techniques et design du support acier pour la caméra
Mars Avril 2015	Sécurisation de l'accès
Mai 2015	Mise en place de la turbine
Sep. À Oct. 2015	Design, commande et pose du système photovoltaïque
Nov. 2015	Installation de la caméra
Nov 2015 à Juin 2016	Acquisition : 30% de couverture
Juillet 2016	Vandalisme : perte du système photovoltaïque
Oct. 2016	Pose du câble d'alimentation
Oct à Mars 2016	Acquisition : 95% de couverture

2.3.2. Installation sur site et paramètres d'acquisition

Plusieurs configurations d'installation ont été étudiées afin de disposer d'un champ de vision permettant d'observer la sortie de l'exutoire et la majorité de la zone côtière à proximité de l'exutoire.

Le système a finalement été installé sur la passerelle situé à l'extrémité du Wharf via le design et la mise en place d'une pièce en acier en forme de triangle fixée sur la structure du Wharf (Figure 4).

Le système a été mis en place au début du mois de Novembre 2015. Il permet d'observer un champ de vision d'environ 300° à partir de 6 positions présentées en Figure 3.

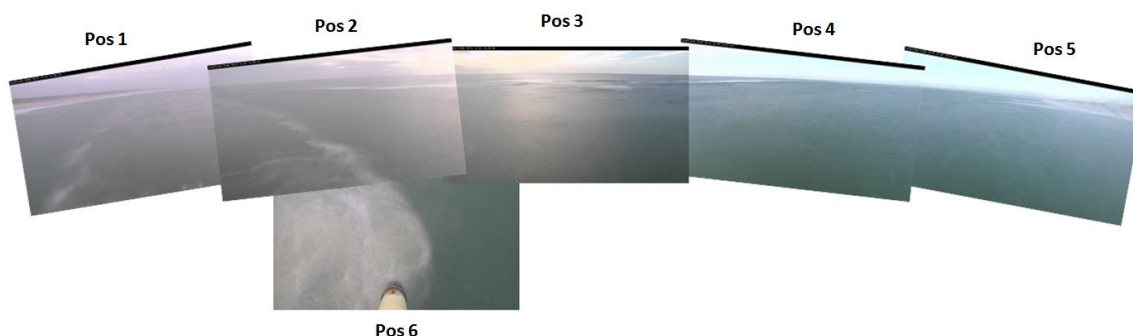


Figure 3 : Champ de vision observé depuis le site d'installation.

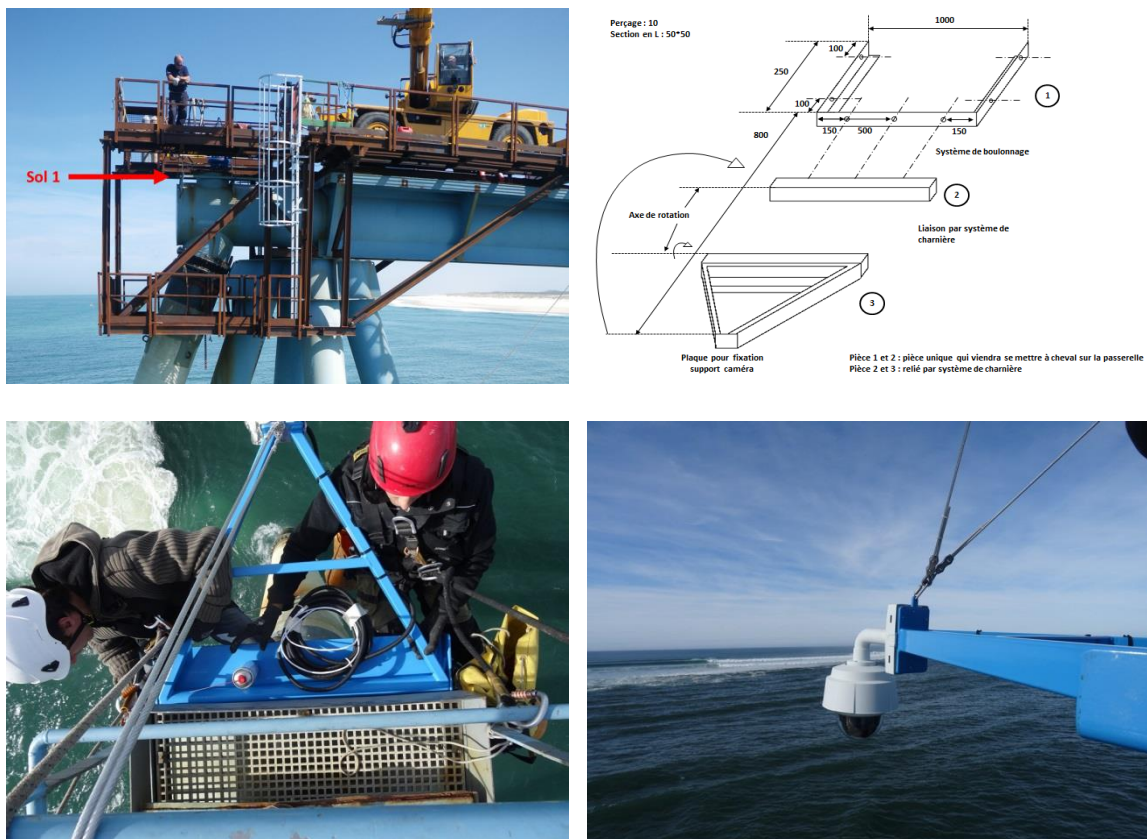


Figure 4 : Design et fixation du support de la caméra à l'extrémité du Wharf

Les paramètres d'acquisition ont été définis de la manière suivante :

- 6 positions permettant d'observer un champ de vision d'environ 300°.
- Résolution fixée à 720p (1280*720 pixels).
- 2 images par secondes.
- Séquence : enchaînement des positions 1 à 6, 30 secondes par position, 200 secondes au total par séquence (6*30 secondes plus 20 secondes de rotation entre les positions et de mise au point).
- 1 séquence par heure stockée sur la caméra puis importée depuis un serveur distant.
- Enclenchement des séquences entre 8h et 17h, tous les jours.

2.3.3. Données acquises

Au cours de la première phase d'acquisition, entre Novembre 2015 et Juin 2016, les nombreux dysfonctionnements de la turbine n'ont pas permis d'assurer une alimentation électrique continue. Bien que le système photovoltaïque ait permis de prolonger l'alimentation de façon périodique, le système vidéo n'a pas pu fonctionner plus de 30% du temps sur l'intégralité de la période.

Suite aux actes de vandalisme et la pose du câble d'alimentation en 220V au mois d'Octobre 2016, le système vidéo a fonctionné plus de 90% du temps jusqu'en Mars 2017. Les algorithmes présentés en Section 4 ont été principalement développés à partir de ce set de données pour appréhender les problématiques de variations d'intensité lumineuse journalière.

3. ADAPTATION DES OUTILS CASAGEC

Cette phase de l'étude a consisté à adapter les outils vidéo CASAGEC au nouveau système de caméra rotative :

- Automatisation du transfert des séquences brutes,
- Génération des images « snapshot » et « timex »,
- Nomenclature des données.

3.1.1. Transfert automatisé des séquences

La caméra n'étant pas configurée pour envoyer les séquences vers un serveur distant, un algorithme BASH a été développé pour réaliser une synchronisation automatisée via un protocole SSH. Deux fois par heure la routine est exécutée depuis un serveur Debian localisé dans les locaux de CASAGEC. Le programme vérifie le nombre de séquences présentes sur la caméra, et vérifie si elles ne sont pas déjà présentes sur le serveur local, puis importe la liste des séquences résultantes. Finalement, après vérification des tailles des différents fichiers importés, le programme efface les données stockées sur la caméra.

3.1.2. Génération des images « snapshot » et « timex »

La séquence brute importée depuis la caméra est constituée de l'enchaînement des 6 positions sur une durée de 30 secondes, et du passage d'une position à l'autre, soit une durée totale d'environ 200 secondes. Il a donc été nécessaire de mettre en place un algorithme permettant de reconstituer une image « snapshot » (image instantanée) et une image « timex » (image moyennée sur 30 secondes) pour chacune des positions définies (Figure 5).

La génération des images exploitables est réalisée de la manière suivante (Figure 6) :

- Décomposition de la séquence vidéo en images.
- Extraction de l'intensité des pixels sur une zone d'intérêt. Cette zone est définie de façon à ce que peu de variations d'intensité des pixels soit observées au cours de l'acquisition des images d'une position donnée sur les 30 secondes d'acquisition.
- Transformation « noir et blanc » des pixels récupérés.
- Identification des 6 pics de variation d'intensité et délimitation temporelle de chacune des positions.
- Récupération des images pour chaque position et génération des images « snapshot » et « timex ».

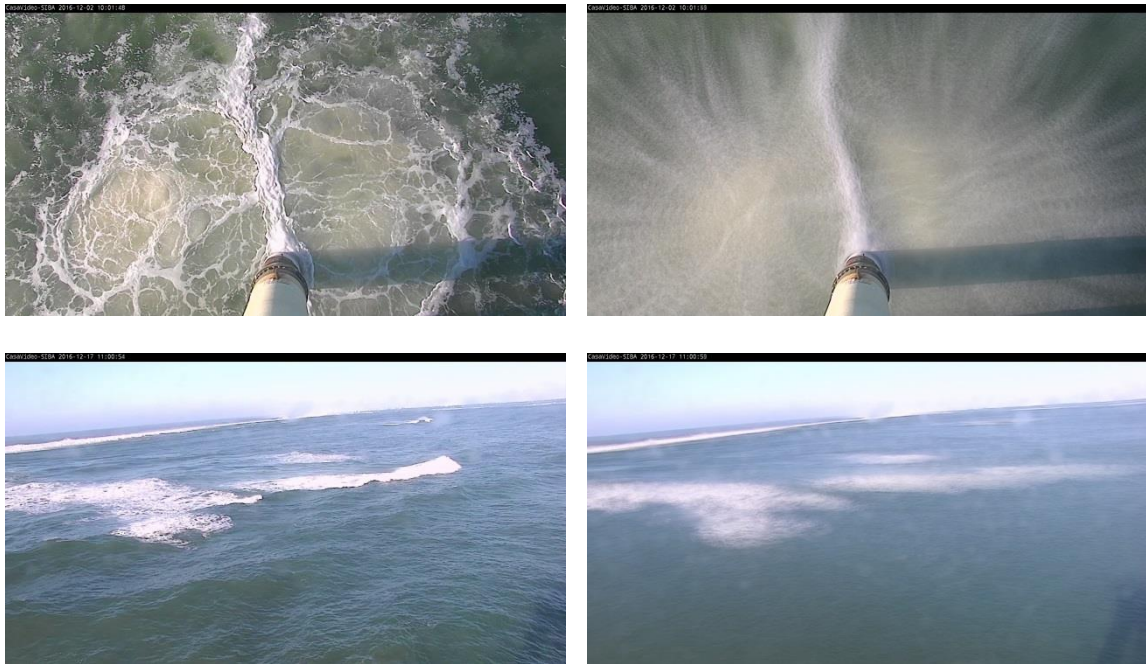


Figure 5 : Exemple d'images « snapshot » (colonne de gauche) et d'images « timex » correspondantes (colonne de droite).

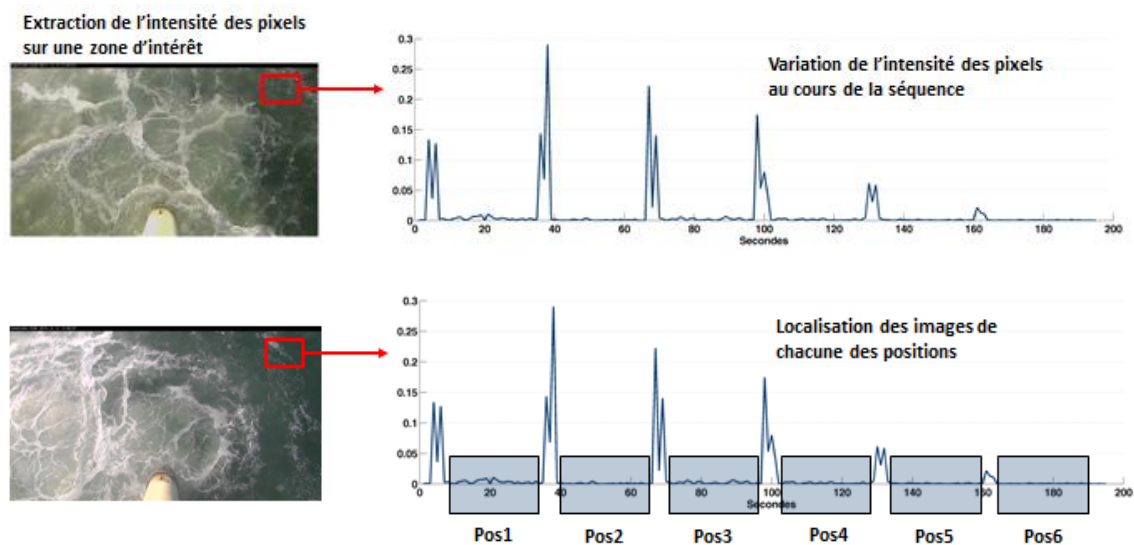


Figure 6 : Technique de génération des images « snapshot » et « timex » à partir de la séquence brute.

3.1.3. Nomenclature et stockage des données

Une fois les images exploitables générées, il est nécessaire de réaliser une nomenclature des données adaptée. La nomenclature utilisée est la suivante :

- nombre de secondes depuis 1970
- nom raccourci du jour de la semaine
- nom du mois
- date au format suivant : jour_heure_minute_seconde

- la chaîne "GMT"
- année
- nom de la station
- nom de la caméra
- type de l'image : "timex", "snap »
- extension : jpeg ou png

Ainsi une image « snapshot » de la position n°1 acquise le 12 Décembre 2015 à 16h GMT aura la nomenclature suivante : **1449936000.Sat.Dec.12_16_00_00_000.GMT.2015.siba.c1.snap.jpeg**.

Les données sont ensuite stockées dans une arborescence de la forme (Figure 7) : nom de la station, années d'acquisition, numéros des positions, jours d'acquisition.

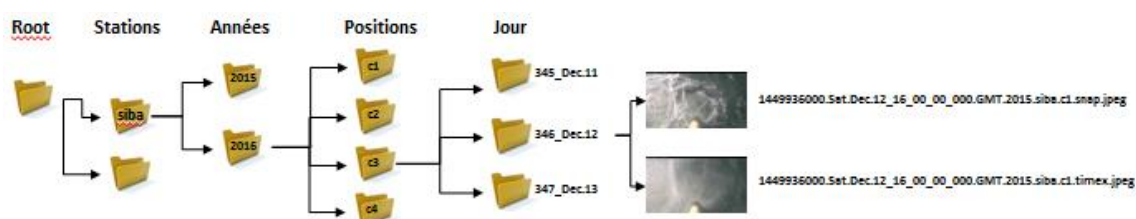


Figure 7 : Arborescence de stockage des données.

4. DEVELOPPEMENT D'ALGORITHME DE TRAITEMENT D'IMAGES SPECIFIQUE

L'étude est basée sur le développement de trois types d'algorithme :

- Le premier algorithme doit être en mesure de qualifier la turbidité des eaux de surface à proximité de l'exutoire. Il doit permettre de différencier les pixels correspondant à l'eau de mer avoisinante en excluant les pixels de l'eau aérée à la sortie de l'exutoire.
- Le second algorithme consiste en la détection de la mousse de surface. Ce dernier doit être en mesure d'identifier les pixels correspondants à la mousse afin de pouvoir suivre la propagation de celle-ci, sa densité, son taux de couverture, ou toute autre information exploitable.
- Le troisième algorithme consiste en la détection de l'emprise du panache de surface. Corrélée à des données connexes (météo, modèles de houle, marée, morphodynamisme locale, etc.), cette quantification de l'emprise pourra également permettre d'améliorer les connaissances sur le panache du Wharf, et particulièrement sur les forçages contrôlant sa dynamique.

L'implémentation de ces algorithmes est soumise à un ensemble de contraintes variées. Comme le montre la Figure 8, les images peuvent être radicalement différentes entre elles : répartition de la mousse, couleur de l'eau, luminosité, agitation de l'eau, artefacts divers (objets indésirables, gouttes d'eau, etc.). Ainsi, les algorithmes doivent être robustes et fiables, quelles que soient les conditions optiques (présence d'ombres, de hautes lumières, de reflets, de gouttes d'eau sur l'objectif, etc.) et climatiques (houle, vague, clapot, rejet en activité ou pas, etc.).



Figure 8 : Échantillon d'images « snapshot » de la position c1 en conditions variées.

En raison du manque de continuité des données acquises avant l'automne 2016, le développement des deux premiers algorithmes a été réalisé à partir d'un set de 710 images « snapshot » prises entre le 1 Novembre 2016 et le 31 Janvier 2017, uniquement sur la position c1 (caméra orientée au nadir).

Au cours de cette période, aucun panache turbide n'a été observé sur les autres positions d'observation, à l'exception de deux événements peu significatifs enregistrés sur une ou deux heures consécutives (Figure 9). Cette thématique ne sera donc pas abordée à ce stade de l'étude.

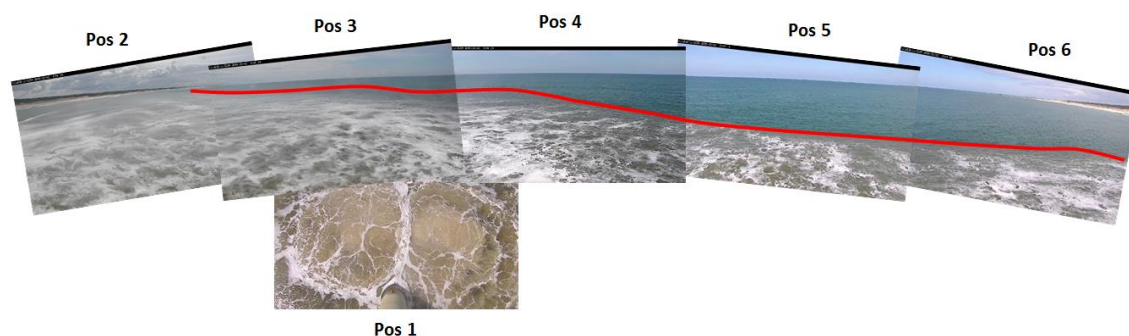


Figure 9 : Exemple d'un des deux événements de panache turbide observé au cours de la période de suivi

4.1. CODE COULEUR

Il existe plusieurs codes couleur à disposition permettant soit d'obtenir une information optique semblable à la vision humaine, soit de différencier la couleur de la luminosité ou de la brillance de l'image.

Ces différents codes couleur sont utilisés lors du développement des algorithmes de traitement d'images.

4.1.1. Le codage RGB

Le code RGB est un système de codage informatique des couleurs.

Il se présente sous la forme d'un ensemble de trois chiffres entiers compris entre 0 et 255. Chaque ensemble représente le dosage nécessaire de chacune des couleurs primaires pour obtenir la couleur désirée.

Les trois codes représentent respectivement le dosage du rouge, du vert, et du bleu. Le blanc pur est représenté par l'ensemble (255/255/255), et le noir par l'ensemble (0/0/0).

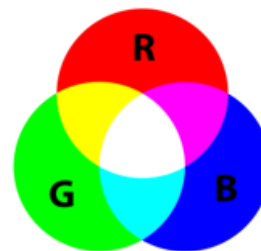


Figure 10 : Codage RGB

Le Codage RGB est celui utilisé par tout système électronique (appareil photo, caméra vidéo, ordinateur, etc.). Il ne nécessite donc pas de conversion et présente l'avantage d'être facilement compréhensible par l'homme.

En revanche, il est difficile de déterminer la dominance d'une couleur dès lors qu'elle n'est pas primaire. Il faudra dans ce cas utiliser un autre système de codage.

4.1.2. Le codage HSV

Le codage HSV (pour Hue/Saturation/Value) ou TSV en français (pour Teinte/Saturation/Valeur) est également un système informatique de gestion des couleurs.

La teinte est codée suivant l'angle qui lui correspond sur le cercle des couleurs :

- 0° ou 360° : Rouge
- 60° : jaune
- 120° : vert
- 180° : cyan
- 240° : bleu
- 300° : magenta

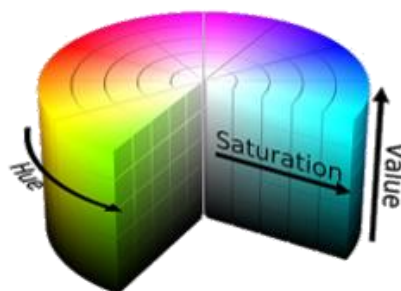


Figure 11 : Codage HSV

La saturation est l'intensité de la couleur, sa « pureté », elle varie entre 0 et 1. Plus la saturation d'une couleur est faible, plus l'image est « grisée ».

La valeur est la brillance de la couleur, elle varie également entre 0 et 1. Plus la valeur est faible, plus la couleur est sombre.

Ce codage impose une conversion de la part de l'ordinateur, mais résulte d'une approche perceptive de la couleur. Ce codage facilite donc la description de la couleur.

4.1.3. Le codage HSL

Le codage HSL (pour Hue/Saturation/Lightness) ou TSL en français (pour Teinte/Saturation/Luminosité) est également un système informatique de gestion des couleurs.

Ce codage est similaire au codage HSV, le paramètre de la luminosité remplace la valeur. Ce nouveau paramètre exprime l'impression de clarté (variation de 0 à 1).

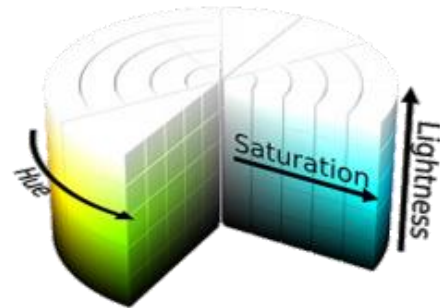


Figure 12 : Codage HSV

4.2. CORRECTION DE LA VARIATION D'INTENSITE LUMINEUSE

Les changements de conditions atmosphériques (position du soleil et couverture nuageuse) induisent une variation significative des niveaux de couleur enregistrés par la caméra. Bien qu'elle soit orientée au nadir sur la position n°1, la caméra peut enregistrer des couleurs surexposées ou sous-exposées en fonction du climat. Il est donc primordial de corriger ses variations avant de pouvoir travailler sur la couleur de l'eau.

La technique proposée dans cette étude se base sur la technique de réglage de la balance des blancs. Cette technique repose sur un étalonnage permettant d'adapter les couleurs à l'éclairage ambiant à partir d'une surface étalon.

La variation d'intensité lumineuse est mesurable sur la conduite car c'est le seul élément de l'image qui possède une teinte invariante. L'estimation de ces variations est réalisée de la manière suivante à partir des 710 images sélectionnées :

- Récupération de l'intensité des pixels de la conduite à partir d'une zone d'intérêt (Figure 13a).
- Conservation du code RGB et de la variable L (luminosité) du code HSL.

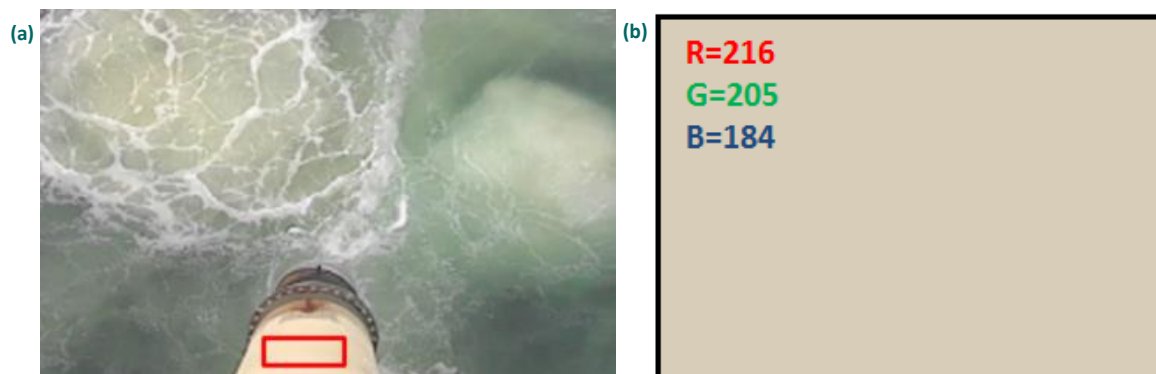


Figure 13 : Extraction des pixels sur une zone d'intérêt au niveau de la descente de la conduite (a), et couleur moyenne résultant du lissage par la composante luminosité (b).

Les résultats obtenus sont présentés en Figure 14. La fluctuation des niveaux d'intensité lumineuse est nettement observable sur la Figure 14a, avec des amplitudes de variation comprises entre 120 et 255.

Les résultats montrent des variations journalières (augmentation des composantes RGB le matin, composantes maximales autour du zénith, diminution des composantes RGB en fin d'après-midi), et des niveaux de couleur plus faibles pour des couvertures nuageuses plus importantes.

Ces fluctuations sont identiques sur les composantes de luminosité présentées en Figure 14b. Les données de luminosité sont donc utilisées pour développer un algorithme permettant de corriger les couleurs RGB brutes en lissant le signal dans le but de limiter l'influence des conditions d'éclairciment (Figure 14c). Les résultats montrent qu'après lissage, les fluctuations du code RGB ont nettement diminué et qu'il est possible de dégager une tendance de la teinte de la conduite. Ainsi les composantes colorimétriques moyennes de la conduite sont estimées à : R=216, G=205, et B=184 (Figure 13b).

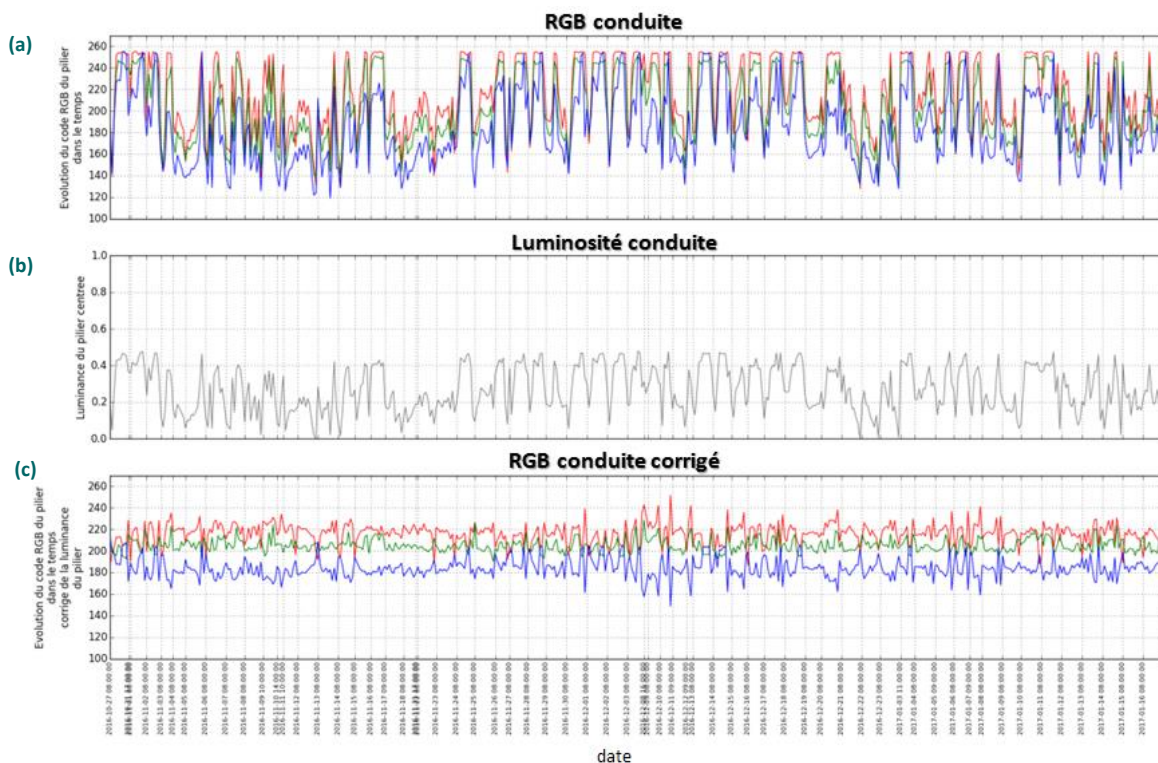


Figure 14 : Représentation des résultats de la variation du code RGB (a), des composantes de luminosité (b), et correction des variations d'intensité lumineuse sur le code RGB (c) au niveau de la zone d'intérêt de la conduite.

L'algorithme de correction des composantes RGB permet donc de limiter l'influence de l'éclairciment à partir de la zone étalon que constitue la descente de la conduite. Cet outil sera utilisé dans le reste de l'étude pour homogénéiser les couleurs de surface de l'eau en amont des algorithmes de détection automatisée (couleur de l'eau, présence de mousse).

Néanmoins, l'étude étant réalisée sur une période restreinte (du 1^{er} Novembre 2016 au 16 Janvier 2017), l'algorithme nécessite d'être amélioré avec la prise en compte d'un set de données plus conséquent pour améliorer la qualité du lissage de l'information brute.

4.3. DIFFÉRENTIATION DES CARACTÉRISTIQUES OPTIQUES DE SURFACE

La plupart des images (photo, dessin vectoriel, image scannée, etc.) vérifient localement des propriétés d'homogénéité, notamment en termes d'intensité lumineuse et de teinte. Dans le but d'identifier les différentes caractéristiques optiques des eaux de surfaces, un algorithme a été développé à partir d'une approche statistique de segmentation et de classification homogène des pixels.

Les N pixels contenus dans l'image sont séparés en plusieurs groupes à partir de la technique de classification des k -moyens, qui permet de classifier les N pixels en K groupes distincts S_j contenant N_j pixels de façon à minimiser la somme des carrés :

$$J = \sum_{j=1}^K \sum_{n \in S_j} |x_n - \mu_j|^2$$

Où :

x_n est un vecteur représentant les valeurs du n ème pixel,

μ_j le barycentre du groupe S_j .

La technique est appliquée à chacun des différents paramètres (RGB, HSV, HSL) pour permettre d'identifier les paramètres les plus influents. Il est ensuite possible de séparer les pixels en plusieurs groupes (mousse, eau de mer, etc.) selon leurs caractéristiques optiques.

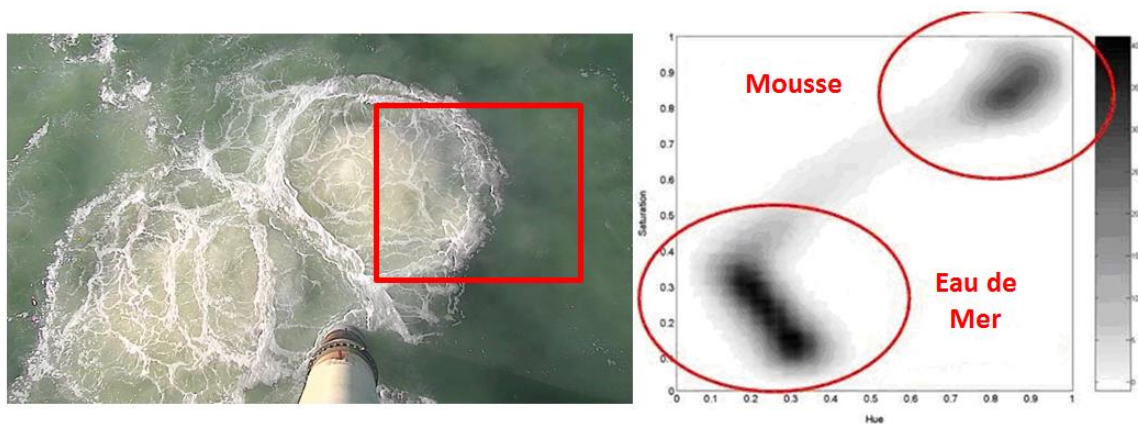


Figure 15 : Exemple de résultats de l'algorithme de segmentation réalisé sur une zone d'intérêt de l'image originale. La distribution de l'intensité des pixels en 2 groupes distincts est observable sur la figure de droite.

Les différents groupes ont été définis de la manière suivante (Figure 16) :

- Conduite : la zone où apparaît la descente de la conduite est exclue du traitement puisque non représentative des eaux de surface.
- Mousse de surface : les pixels représentant la mousse de surface uniquement.
- Eau fortement aérée : à proximité de l'exutoire les eaux ont tendance à être fortement aérées et ne sont pas considérées comme de la mousse.
- Eau faiblement aérée : en s'éloignant de l'exutoire le taux d'aération diminue, mais ces masses d'eau ne sont toujours pas considérées comme de la mousse de surface.
- Eau de mer : L'ensemble des pixels restant sont considérés comme représentatifs de la masse d'eau de mer avoisinante au rejet.

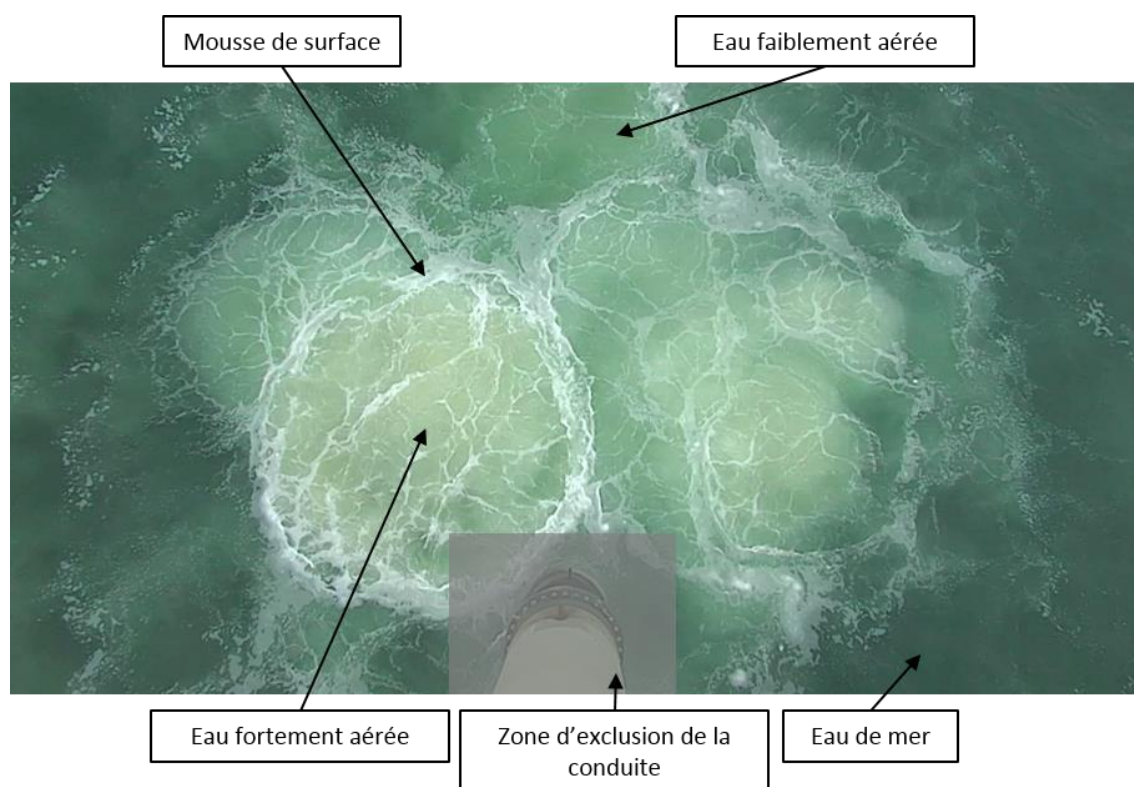


Figure 16 : Exemple des différents groupes utilisés par l'algorithme.

L'algorithme classe le code RGB des pixels en 3 ou 5 classes distinctes, en fonction de la quantité de mousse présente sur l'image (Figure 17) :

- Etape 1 : Pour isoler la zone correspondant à la conduite, une zone d'exclusion représentant 4,8% de la surface totale de l'image est créée autour de la conduite pour chaque image traitée. Les pixels contenus dans cette zone sont remplacés par des valeurs nulles (pixels noirs).
- Etape 2 : Pour chaque image traitée, l'algorithme réalise une segmentation sur 3 groupes : conduite, mousse de surface, eau de mer.
- Etape 3 : si le pourcentage de mousse de surface est inférieur à 2% de la surface totale, les données sont stockées. Les résultats obtenus concernent la localisation et les informations colorimétriques de l'eau de mer et de la mousse de surface.
- Etape 4 : si le pourcentage de mousse de surface est supérieur à 2% de la surface totale, l'algorithme calcule une segmentation sur 5 groupes et stocke les données. Les résultats obtenus concernent la localisation et les informations colorimétriques de l'eau de mer, des eaux aérées (faiblement ou fortement) et de la mousse de surface.

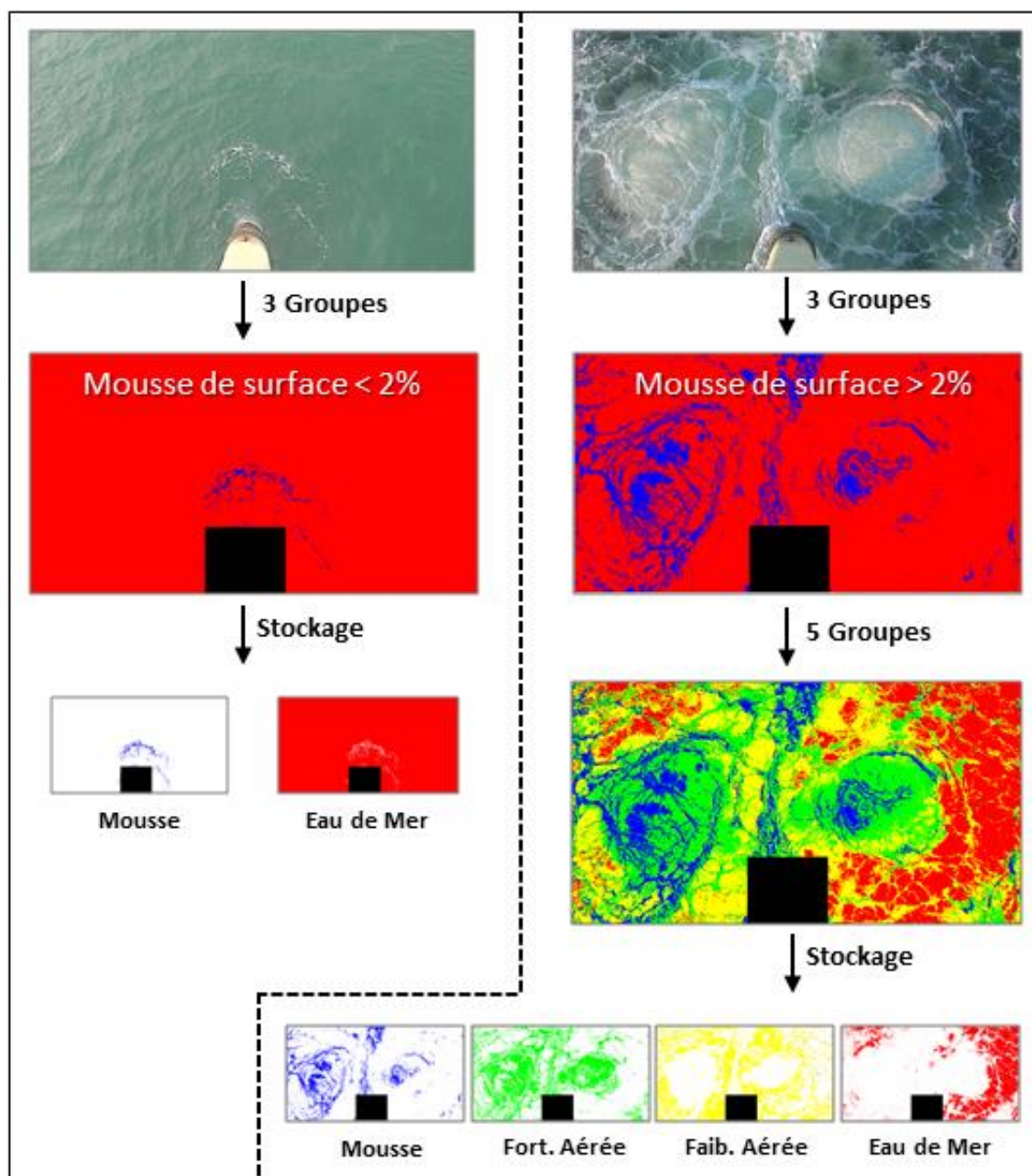


Figure 17 : Schéma de fonctionnement de l'algorithme de segmentation des pixels.

La mise en place de cet algorithme permet de classifier les différentes caractéristiques optiques des eaux de surface et ainsi d'isoler les éléments « mousse de surface » et « eau de mer » qui seront étudiés dans les deux sections suivantes du document.

4.4. INDICATEUR COULEUR DE L'EAU

La couleur de l'eau de mer est récupérée à partir de l'algorithme présenté en Section 4.3. La mousse de surface et les eaux aérées ne sont donc pas considérées dans cette phase de l'étude. L'identification des caractéristiques colorimétriques de l'eau de mer est réalisée sur le set des 710 images sélectionnées.

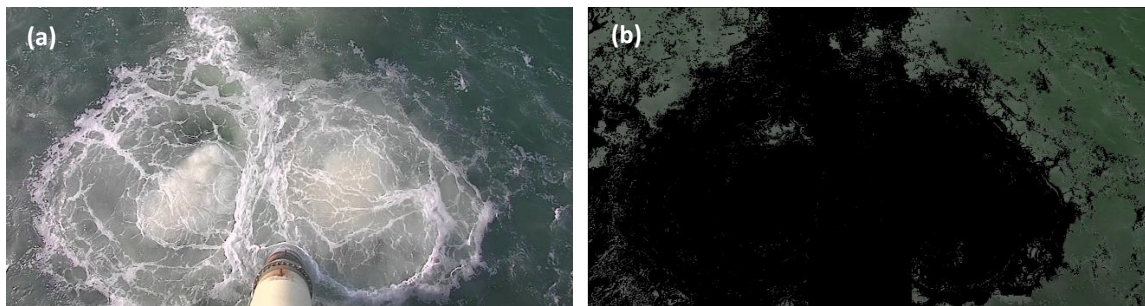


Figure 18 : Extraction des pixels « eau de mer », (a) image d'origine, et (b) répartition des pixels correspondants à la classe « eau de mer ».

A titre d'exemple les informations colorimétriques obtenues sont présentées sur la Figure 19, avant et après correction de l'intensité lumineuse (algorithme présenté en Section 4.2).

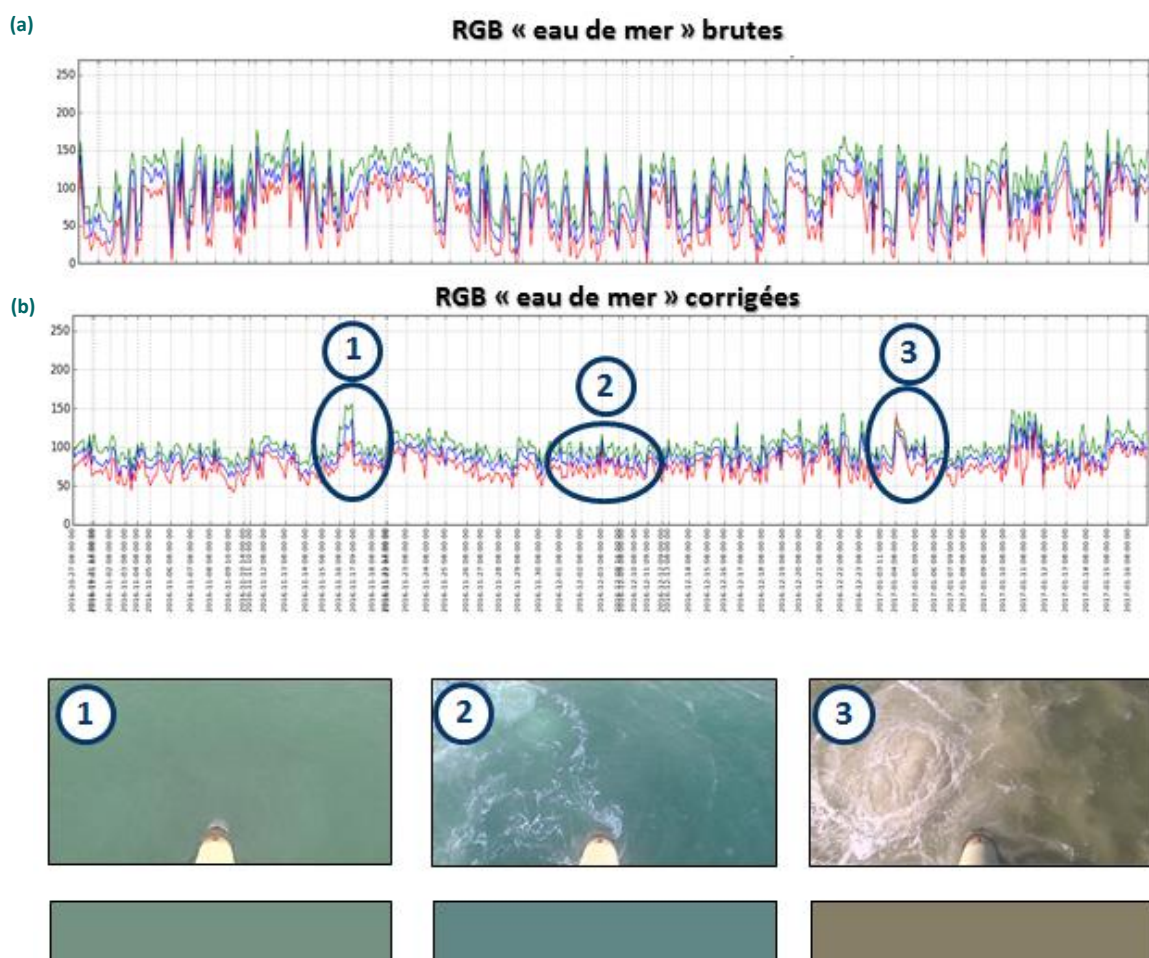
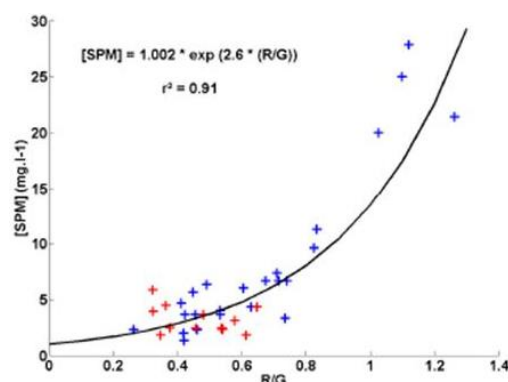


Figure 19 : Évolution du code RGB de l'eau de mer du set d'images dans le temps.

A ce stade de l'étude aucune donnée in-situ de turbidité n'étant disponible, il n'a pas été possible de corréler les variations colorimétriques RGB des eaux de surface à des niveaux de turbidité. Néanmoins, les données font apparaître des caractéristiques optiques distinctes en fonction de la composition des eaux de surfaces :

- Situation 1 : eaux à dominante vert clair, probablement chargées en phytoplancton,
- Situation 2 : eaux à dominante bleue, probablement faiblement chargées en phytoplancton et en matière en suspension.
- Situation 3 : eaux à dominante marron, probablement chargées en matière en suspension.

Une sonde multi-paramètres permettant de mesurer les fluctuations de turbidité à l'intérieur de la conduite a été mise en place au début de l'année 2017 par les services d'Eloa. Les données de cette sonde seront prochainement confrontées aux intensités colorimétriques des eaux de surface, dans le but d'établir des algorithmes de corrélation de type : Turbidité=f(RGB).



Une fois l'algorithme mis en place, il sera possible d'automatiser la technique dans le but d'établir un système d'alarme sur la couleur de l'eau. Les alarmes transmises par email et SMS permettront de programmer une vérification des niveaux de turbidité au niveau de la sonde multi-paramètres.

4.5. INDICATEUR PRESENCE DE MOUSSE

La position des pixels représentant la mousse de surface est récupérée à partir de l'algorithme présenté en Section 4.3. L'eau de mer et les eaux aérées ne sont donc pas considérées dans cette phase de l'étude. Les informations relatives à la mousse de surface sont extraites à partir des 710 images sélectionnées.

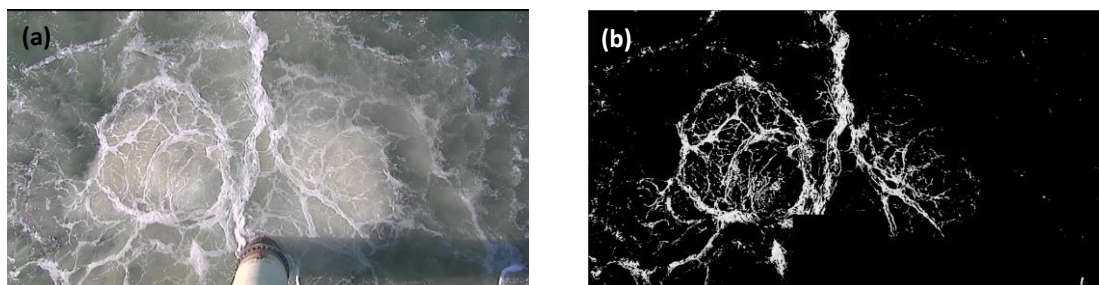


Figure 20 : Extraction de la mousse de surface, (a) image d'origine, (b) répartition des pixels de la classe « mousse de surface ».

A ce stade de l'étude, les données récupérées sont traitées de la manière suivante pour chaque image :

- Le nombre de pixel représentant la mousse de surface est isolé pour établir un pourcentage d'occupation par rapport à la surface totale observée par la position n°1 de la caméra. Les données sont ensuite traitées en fonction d'une occurrence mensuelle, journalière et horaire.
- La position des pixels représentant la mousse de surface est isolée pour réaliser une carte de fréquence d'occurrence spatiale. Cette carte permet de localiser les zones où la mousse est observée régulièrement sur la période de suivi.

Il est important de noter qu'à ce stade de l'étude, et au regard de la quantité de données traitées, l'interprétation des résultats ne peut être considérée comme représentative, et est fournie à titre informatif.

4.5.1. Distribution temporelle

Les résultats relatifs à la distribution temporelle de la mousse de surface, présentés en Figure 21 montrent que :

- Distribution mensuelle : Le pourcentage d'occupation moyen est de l'ordre de 8.5% de la surface totale. La valeur la plus élevée est atteinte pour le mois de Novembre (9.3%), et les fluctuations mensuelles sont faibles (environ 2% d'écart au maximum).
- Distribution journalière : le pourcentage de mousse diminue du lundi au mercredi (de 8.2% à 7.6%) et à tendance à augmenter en fin de semaine pour atteindre un pic le vendredi d'environ 10% d'occupation. Au cours du week-end, les taux diminuent avec une occupation moyenne de 9%.
- Distribution horaire : les résultats montrent une augmentation du pourcentage d'occupation des mousses de surface de 8h du matin (6.8%) à 12h (9.9%), puis une tendance inverse, avec une baisse des pourcentages jusqu'à 16h (7.5%). Au cours de la dernière heure de suivi, le pourcentage augmente de façon significative jusqu'à 9.5%.

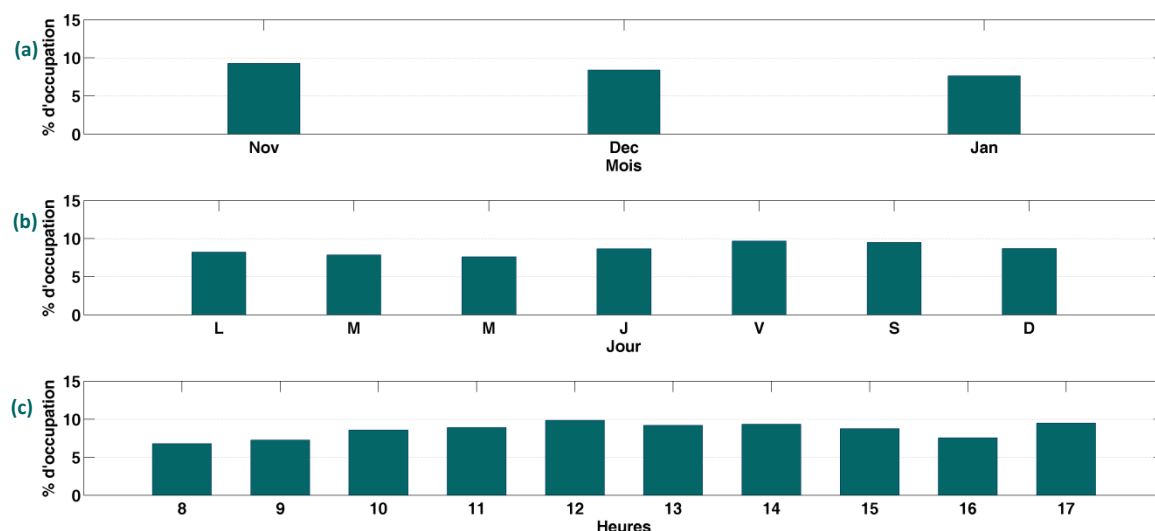


Figure 21 : Suivi temporel de la mousse de surface. (a) Pourcentage d'occupation mensuelle, (b) journalière, et (c) horaire.

4.5.2. Distribution spatiale

Les cartes de pourcentage d'occurrence spatiale sont présentées en Figure 22 (le pourcentage est effectué en fonction du nombre d'images traitées). La mousse de surface est localisée principalement au droit de l'exutoire, légèrement décalé sur la partie Sud de la zone observée par la position n°1 de la caméra. La forme circulaire présente sur les 4 cartes correspond à la « bulle » observée régulièrement sur les images « snapshot » (Figure 20). Par ailleurs, le pourcentage d'occurrence est plus important en Novembre qu'en Janvier comme vu en Section 4.5.1.

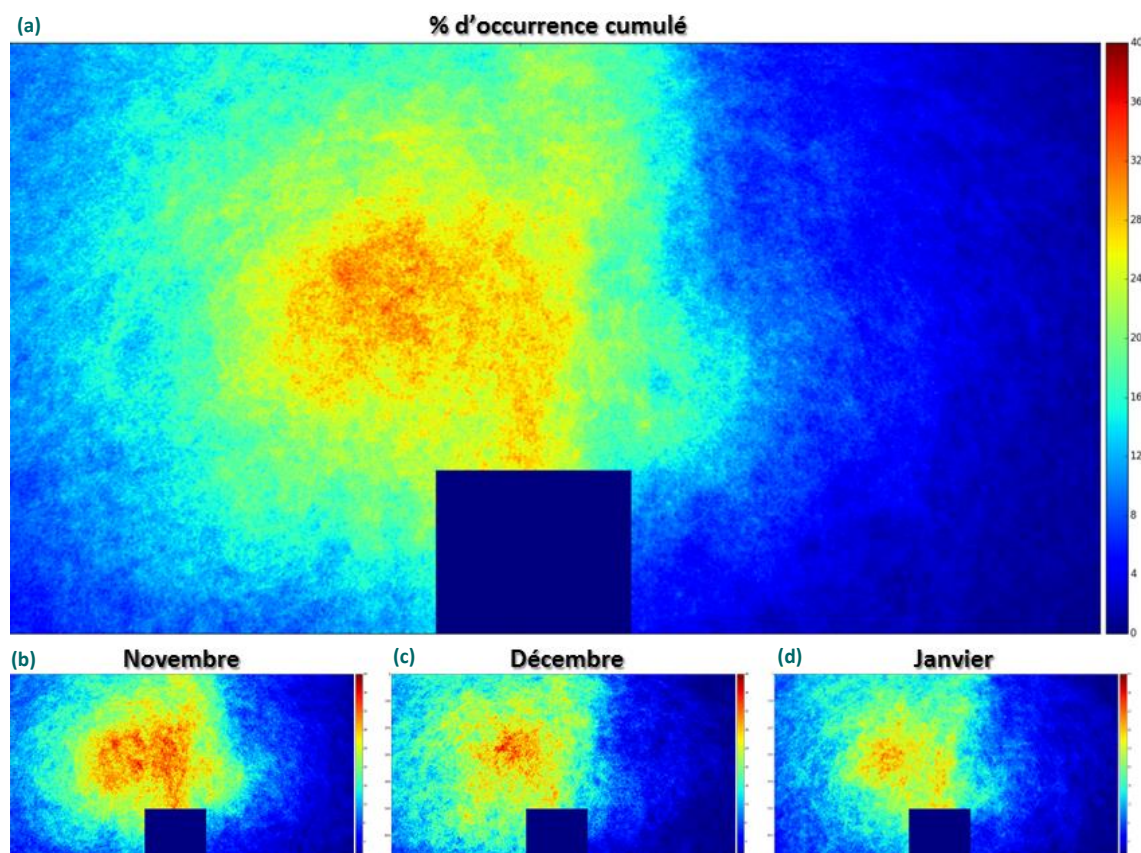


Figure 22 : Carte de pourcentage d'occurrence cumulée (a) sur l'intégralité de la période de suivi, et sur les mois de Novembre 2016 (b), Décembre 2016 (c), et Janvier 2017 (d).

5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Ce document constitue la restitution des travaux réalisés depuis le démarrage du programme intitulé « Démarche innovante d'expertise vidéo des rejets du Wharf de la Salie ».

Les nombreux problèmes techniques liés à l'installation sur site (sécurisation, mise en place du trou d'homme, etc.) et à la mise en place d'une alimentation électrique stable du système vidéo ont perturbé de façon significative l'acquisition des données vidéo. Ainsi, seules les parties 1 à 3 du programme initial ont pu être développées :

■ Partie 1 :

- Les contraintes liées au site d'installation ont emmené à la refonte intégrale du système d'acquisition vidéo. L'utilisation de caméra Dôme IP constitue un choix adapté aux contraintes locales et permet de faciliter les protocoles d'installation et de maintenance, tout en favorisant la couverture spatiale et la résolution du système.
- La mise en place d'un système de communication 4G autonome a permis de s'affranchir des contraintes de flux ADSL indisponible au niveau du Wharf. Le système mis en place a été développé en favorisant des techniques de communication à faible coût (carte SIM classique, Raspberry Pi, etc.).
- La principale contrainte rencontrée est liée à l'alimentation électrique. Plusieurs dispositifs ont été testés (turbine hydraulique, panneaux photovoltaïques, câble d'alimentation 220V) ce qui a retardé la mise en opération du système. Au final le système est opérationnel depuis la fin du mois d'Octobre 2016.

■ Partie 2 : Cette phase de l'étude a consisté à adapter les outils CASAGEC au niveau système d'acquisition vidéo en termes de : (i) transfert automatisé des données vers des serveurs distants, (ii) génération des données exploitables (images « snapshot » et « timex »), (iii) nomenclature des données pour constituer une base de données horodatées.

■ Partie 3 :

- La première phase de cette partie de l'étude a consisté à établir un algorithme permettant de limiter l'influence des variations d'intensité lumineuse engendrées par la position du soleil et la couverture nuageuse sur les composantes RGB acquises par la caméra. A cet effet, un important travail a été réalisé pour constituer un « étalon physique » via l'observation de la couleur de la conduite. Le lissage des données permet d'uniformiser la colorimétrie des eaux de surface, mais nécessitera d'être amélioré avec la constitution d'une base de données images plus exhaustive.
- La seconde phase de développement a permis de classer quatre différentes caractéristiques optiques des eaux de surfaces. Via un algorithme innovant de segmentation, il est possible de détecter automatiquement les classes « mousse de surface », « eau fortement aérée », « eau faiblement aérée », et « eau de mer ».
- Enfin, l'amélioration des connaissances relatives à la présence de mousses de surface et aux variations de couleur de l'eau a pu être initiée sur la base des algorithmes développés précédemment. La faible quantité de données disponible ne permet cependant pas d'être conclusif et l'effort d'acquisition nécessite d'être poursuivi. Par ailleurs, la confrontation des données optiques avec des données in-situ permettra d'établir des corrélations dans le but de mettre en place des systèmes d'alarmes robustes.

Au regard des résultats prometteurs et du travail engagé au cours de ces trois premières années, la continuité de l'acquisition doit être engagée dans le but de finaliser le développement d'un système autonome d'alertes de présence de mousse et de couleur des eaux de surface.

La mise en place d'une sonde multi-paramètres par les services d'Eloa au début de l'année 2017, permet d'acquérir de la donnée in-situ à haute fréquence. L'assimilation de ces données fournies mensuellement permettra la calibration des algorithmes de caractérisation de la turbidité en fonction des paramètres colorimétriques fournis par la caméra. La définition de seuils de turbidité permettra de déclencher des alertes SMS et Email afin de vérifier les données de la sonde et contrôler la qualité des effluents du Wharf. Ces informations seront mises à jour en fonction des données in-situ reçues mensuellement pour affiner la qualité de l'algorithme.

Par ailleurs, la calibration extrinsèque du système vidéo, couplée à une acquisition continue des images permettra de quantifier l'emprise et la dynamique de surface des panaches turbides dans la zone côtière. La corrélation des données ainsi obtenues aux forçages océano-climatiques locaux (marées, houles, vents, etc.) permettra de dresser un schéma de fonctionnement de la dynamique de surface des panaches du Wharf de La Salie.

L'ensemble des produits générés par le système vidéo seront stockés dans une base de données qui permettra d'alimenter les prochaines études réalisées sur le site. Une attention particulière sera portée à la mise en conformité de ces données sous un format numérique compatible avec les standards du maître d'ouvrage et de ses partenaires.