

Validation pluriannuelle de l'algorithme OC5-PHYSAT sur 3 sites méditerranéens

SIGNATURE PIGMENTAIRE DU PHYTOPLANCTON ET
IMAGERIE SATELLITAIRE « COULEUR DE L'EAU »

Sylvain Coudray

Novembre 2020
(révision du 26 septembre 2022)

Document final LITTOSAT phase I

En partenariat avec



Avec le soutien de

Contexte de programmation et de réalisation

Ce rapport a été réalisé dans le cadre du programme scientifique et technique AQUAREF pour l'année 2019, au titre de l'action B1.9 : Études techniques et scientifiques - Adaptation des méthodes par télédétection satellitaire à l'évaluation, à partir des indices pigmentaires en milieu marin (Ifremer).

Auteur :

Sylvain COUDRAY
IFREMER/ODE/LEPRAC
sylvain.coudray@ifremer.fr

Contributeurs :

Anne Goffart,
Océanographe biologiste, A.Goffart@uliege.be

Philippe Bryère,
Ingénieur en imagerie satellitaire, Société ARGANS à Brest.

Pierre Lejeune,
Biologiste, directeur de la station STARESO à Calvi.

Vérification du document :

Rémi Buchet
Coordinateur national expertise DCE - IFREMER/ODE/VIGIES
remi.buchet@ifremer.fr

Les correspondants

OFB :
Maïa Akopian, DRAS maia.akopian@ofb.gouv.fr
Dorothee Vincent, DSUED, dorothee.vincent@ofb.gouv.fr

Référence du document

Sylvain COUDRAY - Validation pluriannuelle de l'algorithme OC5-PHYSAT sur 3 sites méditerranéens - Rapport AQUAREF 2019 - 61 p.

Droits d'usage :	Accès libre
Couverture géographique :	International
Niveau géographique :	National
Niveau de lecture :	Professionnels, experts
Nature de la ressource :	Document

1 REMERCIEMENTS	7
2 INTRODUCTION	8
3 DESCRIPTION DE LA MÉTHODE PHYSAT APPLIQUÉE À LA MÉDITERRANÉE	10
4 DESCRIPTION DE L'OUTIL PROTOTYPE OC5-PHYSAT	12
5 CALCUL DES CONCENTRATIONS DE CHLOROPHYLLE-A TOTALE PAR OC5-MED SUR DEUX SITES DE RÉFÉRENCE EN RÉGIONS OCCITANIE ET SUD-PACA	15
5.1 Validation des données de chlorophylle-a au point SOMLIT Marseille-Frioul	16
5.2 Validation des données de chlorophylle-a au point SOMLIT Banyuls-Sola.....	17
6 VALIDATION PLURIANNUELLE DES RÉSULTATS OC5-PHYSAT SUR LE SITE DE CALVI (2012-2015)	18
6.1 Analyse des concentrations en chlorophylle-a totales et validation des concentrations en chlorophylle-a par mesure in situ	19
6.2 Calcul des concentrations en pigments secondaires sur quatre années	22
6.2.1 Concentrations en cyanobactéries	23
6.2.2 Concentrations en Prochlorococcus	25
6.2.3 Concentrations en Synechococcus	26
6.2.4 Concentrations en diatomées.....	27
6.2.5 Concentrations en prymnésiofycées	29
6.2.6 Concentrations en autres bactéries (majoritairement nano-eucaryotes)	31
7 VALIDATION ANNUELLE DES RÉSULTATS OC5-PHYSAT SUR LES SITES SOMLIT BANYULS-SOLA (RÉGION OCCITANIE) ET MARSEILLE-FRIOUL (RÉGION SUD-PACA) SUR LA PÉRIODE AUTOMNE 2017- PRINTEMPS 2018	33
7.1 Analyse des concentrations en chlorophylle-a totales.....	35
7.2 Calcul des concentrations en pigments secondaires	37
7.2.1 Concentrations en cyanobactéries totales	37
7.2.2 Concentrations en diatomées.....	39
7.2.3 Concentrations en prymnésiofycées	41
7.2.4 Concentrations en autres bactéries (majoritairement nano-eucaryotes)	43
8 SYNTHÈSE POUR L'ACTION OPÉRATIONNELLE	45
9 CONCLUSION	47
10 GLOSSAIRE	48
11 SIGLES ET ABRÉVIATIONS	49
12 BIBLIOGRAPHIE	50
13 TABLE DES ILLUSTRATIONS ET TABLEAUX	53
14 ANNEXE 1 - SYNOPTIQUE DE L'ALGORITHME OC5-PHYSAT	54
15 ANNEXE 2 - DONNÉES PIGMENTAIRES CALVI-TÊTE-DE-CANYON	55
16 ANNEXE 3 - DONNÉES PIGMENTAIRES SOMLIT	58
17 ANNEXE 4 - TABLE DE CORRESPONDANCE N° SEMAINES / JOURS	59

RESUME

Depuis 2015, de nouvelles méthodes analytiques ont été prospectées par l'Ifremer et l'Université de Liège dans le cadre des projets MEDSAT et IC-MEDITS avec le support de l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse puis de l'AFB pour spatialiser la composition des communautés phytoplanctoniques des eaux littorales méditerranéennes françaises. Elles sont basées sur l'utilisation de mesures HPLC réalisées sur une station de référence couplées à des observations satellites à grand échelle, elles-mêmes traitées par la combinaison successive de deux algorithmes d'analyse de la « couleur de l'eau » : OC5 et PHYSAT.

L'algorithme OC5 a été développé par l'Ifremer pour estimer les concentrations du pigment chlorophylle-a totale à la surface des océans à partir de 5 bandes spectrales observées par le capteur couleur de l'eau de différents satellites (MODIS, SeaWiFS, OLCI) avec de bons résultats en zones côtières. Parallèlement, l'algorithme PHYSAT a été développé à échelle globale par le laboratoire d'Océanologie et de Géosciences (LOG UMR 8187 CNRS), pour estimer la contribution des principaux groupes phytoplanctoniques dominants dans le signal satellite couleur de l'eau. Cette méthode empirique est basée sur la détection des « anomalies » spectrales de réflectance de la lumière à la surface de l'eau après soustraction de la composante chlorophylle-a totale afin de discriminer l'influence des pigments secondaires. L'estimation finale est réalisée par calcul de la distribution statistique des principaux groupes dominants dans une grille d'observation assez vaste avec un pas de 1 km. Une bonne corrélation avec les mesures *in situ* a déjà été relevée dans l'océan global (Alvain et al., 2012) ainsi que sur tout le bassin méditerranéen (Navarro et al., 2014) pour les 4 grands groupes fonctionnels suivants : Diatomées, Cyanobactéries, Haptophytes et toutes les autres espèces regroupées par simplification dans la rubrique « Autres Nano-eucaryotes ». La validation empirique qui avait précédemment été conduite par l'Ifremer et l'Université de Liège sur une grille d'observation réduite de 5 km par 5 km à proximité de la station de mesure fixe « Calvi Tête de canyon » pour l'année de référence 2015 a été élargie à 4 années consécutives de 2012 à 2015 afin de confirmer la validité des tables de classification. La validation a ensuite été étendue géographiquement à 2 autres sites en eaux claires : Marseille-Frioul et Banyuls-Sola grâce aux données *in situ* des points SOMLIT traitées par HPLC à l'Université de Montpellier.

En conclusion, un certain nombre de recommandations générales ont été tirées de cette expérimentation pluriannuelle et multi-sites pour une éventuelle mise en application de cet algorithme sur l'emprise spatiale de la sous-région marine Méditerranée Occidentale au sens de la DCSMM.

Mots clés (thématiques et géographiques) :

Couleur de l'eau, satellite, MODIS, analyse spectrale, phytoplancton, groupes fonctionnels, Méditerranée, Corse, Calvi, eaux oligotrophes, OC5, PHYSAT, SOMLIT

ABSTRACT

Since 2015, new analytical methods have been explored by Ifremer and the University of Liège (Belgium) in the framework of the MEDSAT and IC-MEDITS projects and with the initial support of the Rhône-Mediterranean-Corsica Water Agency (AERMC) and then with the French Agency for the Biodiversity (OFB) to spatialise the phytoplankton composition of French Mediterranean coastal waters. These methods are based on the use of HPLC measurements performed on a reference point coupled with large-scale satellite observations treated by the combination of two successive “water colour” analysis algorithms : OC5 and PHYSAT.

The first one OC5, was developed by Ifremer to estimate total chlorophyll-a concentrations from 5 spectral bands observed by the water color sensor of different satellites (MODIS, SeaWiFS, OLCI) with good results in coastal areas. At the same time, the PHYSAT algorithm was developed by the laboratory of oceanology and geosciences (LOG UMR 8187 CNRS) to estimate at a global scale the contribution of the main dominant phytoplankton groups in the water colour satellite signal. This empirical method is based on spectral anomaly detection in the light reflectance values obtained from the water surface, after subtraction of the total chlorophyll-a component in order to discriminate the influence of secondary pigments.

The final estimate is made by calculating the statistical distribution of the main dominant groups in a fairly large observation grid with a pitch of 1 km. A good correlation with *in situ* measurements has already been observed in the global ocean (Alvain et al., 2012) as well as the entire Mediterranean basin (Navarro et al., 2014) for the following major Phytoplankton Functional Types (PFT) : Diatoms, Cyanobacteria, Haptophyta and finally all other species grouped by simplification under the heading « Other nanoeukaryotes ». The empirical validation that had previously been conducted by Ifremer and the University of Liège on an observation reduced grid of 5 km by 5 km near the stationary measuring station « Calvi Tête de canyon » for the 2015 reference year was extended to 4 consecutive years from 2012 to 2015 to confirm the validity of the classification tables. The validation was then extended geographically to 2 other sites in clear waters : Marseille-Frioul and Banyuls-Sola thanks to the *in situ* data of SOMLIT points processed by HPLC at the University of Montpellier.

In conclusion, a number of general recommendations were drawn from this multi-annual and multi-sites experiment for the possible application of this algorithm throughout the DCSMM marine sub-region in the western Mediterranean Sea.

Key words (thematic and geographical area):

Water color, satellite, MODIS, spectral analysis, phytoplankton, Phytoplankton Functional types, Mediterranean Sea, Corsica, Calvi, oligotrophic waters, OC5, PHYSAT, SOMLIT

1 REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier toutes les personnes ayant permis de mener à bien ce travail en temps voulu, à commencer par nos prestataires de service : Philippe Bryère de la société ARGANS à Brest ayant produit les données OC5-MODIS utilisées en entrée de l'algorithme PHYSAT et Pierre Lejeune de la société STARESO à Calvi ayant effectué les prélèvements d'eau nécessaires à la mesure in-situ sur le point de référence.

Un remerciement particulier à Anne Goffart qui a suivi depuis 2014 les développements réalisés autour de l'algorithme OC5-PHYSAT en apportant ses conseils avisés sur le traitement des mesures pigmentaires par HPLC et en nous fournissant les séries de données longues patiemment acquises sur le site de Calvi-Tête de canyon.

Nous remercions également notre ancien collègue du service DYNECO de IFREMER à Brest, le Dr Francis Gohin, pour son expertise précieuse des signaux satellitaires couleur de l'eau et sa persévérance dans l'amélioration continue et la mise en œuvre opérationnelle de l'algorithme OC5.

Enfin nous sommes redevables à Francesca Vidussi et à l'UMR MARBEC de l'Université de Montpellier de nous avoir transmis gracieusement les données du projet CHIFRE-EC2CO acquises sur les deux points SOMLIT méditerranée de Banyuls et Marseille, qui ont permis d'étendre la validation de l'algorithme aux deux régions concernées.

2 INTRODUCTION

Les données satellitaires permettent aujourd'hui de spatialiser l'information sur la biomasse phytoplanctonique par analyse de la couleur de l'eau en surface avec une résolution spatiale nominale de 1km pour le capteur MODIS sur satellite NASA/ACQUA depuis l'année 2000, ou de 300 m pour le capteur MERIS sur satellite ESA/ENVISAT pour la période 2002-2012 et depuis 2017, pour le capteur OLCI-ESA/SENTINEL. Au cours de la dernière décennie, les analyses spectrales effectuées sur les signaux dits « couleur de l'eau » ont pu être corrélées à la présence de différents grands groupes phytoplanctoniques (Phytoplankton Functional Types) identifiables grâce à leur composition pigmentaire (Demarcq et al., 2012). La méthodologie PHYSAT (Alvain 2007, Alvain et al., 2008) développée au Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences (LOG UMR 8187) du CNRS a pour but de détecter la signature des grands groupes phytoplanctoniques dans le signal satellitaire et d'élaborer des cartes de répartition, permettant de distinguer l'influence dominante des cyanobactéries, des diatomées, des haptophytes et autres nano-eucaryotes. Une version successive de l'algorithme a été adapté à la mer Méditerranée (OC3-Med-PHYSAT) et validée sur des mesures satellitaires MODIS avec des données pigmentaires acquises à l'échelle du bassin méditerranéen et plus spécifiquement en mer Ligure grâce aux campagnes SODYF et BOUSSOLE (Navarro et al., 2014). Plus récemment, une nouvelle version OC4-Med-PHYSAT a été mise en œuvre sur tout l'espace méditerranéen grâce à la base de données ESA OC-CCI résultant de la fusion sur une durée de 18 années des différents capteurs optiques SeaWiFS, MODIS, MERIS et VIIRS (Navarro et al., 2017).

De son côté, l'Ifremer dispose à ce jour d'une base de données des niveaux de chlorophylle-a totale calculés sur toute la zone française méditerranéenne (emprise DCSMM), à partir des images MODIS à la résolution d'un pixel par kilomètre pour la période 2010-2019, grâce à un algorithme couleur de l'eau spécifique OC5 (Gohin et al., 2020) travaillant utilisant 5 longueurs d'ondes.

Sur cette base, l'Ifremer avait proposé d'évaluer la faisabilité d'un outil numérique dénommé OC5-PHYSAT, capable de caractériser les compositions phytoplanctoniques méditerranéennes à une échelle beaucoup plus locale de l'ordre de 25 km² (downscaling) et de valider les résultats obtenus sur un site « chantier » situé à Calvi en eaux claires oligotrophes. L'algorithme a ainsi été calibré sur ce site de référence en affinant la table de classification initialement mise au point par le laboratoire espagnol ICMAN-CSIC (Navarro et al., 2014) pour les mêmes données MODIS. Cette calibration « locale » a été réalisée manuellement avec une grille d'observation satellite centrée sur le Canyon sous-marin de Calvi et par comparaison avec une base de données pigmentaire issue de l'analyse HPLC d'échantillons prélevés en 2015 sur le point d'origine « Tête de Canyon » (Goffart et al., 2015).

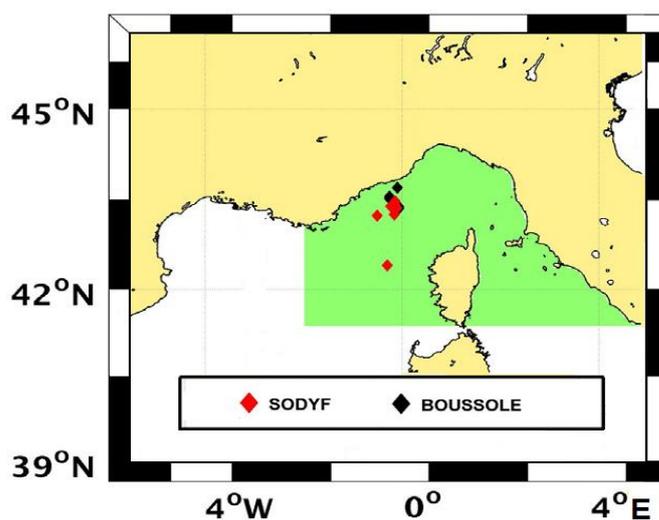
Consécutivement à ce premier travail, sur incitation de l'AFB et dans le cadre de la présente convention AQUAREF, Ifremer a entrepris une validation pluriannuelle de l'algorithme OC5-PHYSAT sur le site de Calvi à l'aide des séries pigmentaires longues mises à disposition par le laboratoire d'Océanologie de l'Université de Liège pour la période 2012-2015. Pour confirmer la robustesse de l'algorithme, la validation a été étendue géographiquement à deux autres sites également situés en eaux claires et localisés en Baie de Banyuls pour la région Occitanie et en Baie de Marseille pour la région SUD-Provence. Ces deux sites complémentaires ont été sélectionnés en raison de l'existence d'un point de mesure SOMLIT sur lequel des prélèvements et des analyses HPLC avaient déjà été effectués dans le cadre du projet LEFE-EC2CO CHIFRE initié par le laboratoire de géosciences marines de l'Université de Montpellier en lien avec l'UMR MARBEC et l'Observatoire de Banyuls.

La méthode employée pour valider l'algorithme OC5-PHYSAT a consisté dans un premier temps à appliquer les traitements OC5-Med sur la base d'images MODIS « couleur de l'eau » de 2012 à 2018 pour obtenir les concentrations journalières en chlorophylle-a totale. Ces concentrations ont été moyennées sur 7 jours consécutifs pour être comparées aux données de chlorophylle-a totale obtenues de manière hebdomadaire par analyse HPLC sur chacun des sites retenus en fonction des années disponibles : 2012-2015 pour le point « Calvi Tête de canyon », 2017-2018 pour le point SOMLIT « Banyuls-Sola » et enfin 2018 pour le site SOMLIT « Marseille-Frioul ». Cette comparaison a permis de vérifier en premier lieu la qualité de la composante principale obtenue relativement au pigment chlorophylle-a totale présent dans tous les groupes ; et en second lieu, après soustraction systématique de cette composante principale, de vérifier les variations hebdomadaires des 4 grands groupes principaux. Leurs concentrations respectives sont obtenues après classification de la signature spectrale caractéristique du groupe sur chaque pixel de la grille d'observation. Les ratios de présence de chaque groupe ainsi obtenus ont également été moyennés sur 7 jours puis comparés aux différentes séries de concentrations hebdomadaires des pigments secondaires ayant été détectés par analyse HPLC.

Dans les pages suivantes, après un bref rappel sur la méthode PHYSAT (Chapitre 2) puis une description de l'outil prototype développé par IFREMER dénommé OC5-PHYSAT (Chapitre 3), nous présenterons la validation spécifique des concentrations de chlorophylle-a totale OC5 pour les deux nouveaux sites retenus (Chapitre 4), puis la validation pluriannuelle de l'algorithme sur le site de référence Calvi Tête de Canyon (Chapitre 5) et enfin la validation multi-sites des données calculées autour des points SOMLIT Banyuls-Sola et Marseille-Frioul (Chapitre 6). Une synthèse des principaux résultats obtenus avec quelques recommandations pour une éventuelle utilisation opérationnelle de l'algorithme est donnée en fin de rapport (Chapitre 7).

3 DESCRIPTION DE LA METHODE PHYSAT APPLIQUEE A LA MEDITERRANEE

La méthode PHYSAT a été développée par Séverine Alvain dans le cadre d'une thèse soutenue en 2006 au Laboratoire des Sciences du Climat de l'Environnement de l'Institut Pierre Simon Laplace (Alvain, 2006) puis mise en application pour des études sur l'Océan Global au laboratoire d'Océanologie et Géosciences de Wimereux (LOG UMR 8187 CNRS). Cette méthode est basée sur l'analyse normalisée des ondes réfléchies à la surface de l'eau (water-leaving radiances) après soustraction de la composante principale en chlorophylle-a pour faire apparaître les « anomalies spectrales » dues aux pigments secondaires caractéristiques de plusieurs groupes phytoplanctoniques fonctionnels (PFTs pour Phytoplankton Functional Types). Les anomalies spectrales sont ensuite associées de manière empirique à cinq groupes dominants auxquels correspondent des biomarqueurs spécifiques (pigments mesurés *in-situ*). Une table de « coefficients charnières » caractéristiques les différentes formes spectrales est ainsi établie par comparaison avec une base de mesures HPLC réalisées sur des prélèvements de surface qui correspondent à 90% de la lumière réfléctée. Plus récemment, la méthode PHYSAT a été mise en application à l'échelle régionale en Mer du Nord (Rêve-Lamarche et al., 2017) et sur une portion de la façade méditerranéenne Nord-Ouest par Gabriel Navarro à l'Institut des sciences marines d'Andalousie, ICMAN-CSIC (Navarro et al. 2014). Dans cette dernière version, les estimations de concentrations de chlorophylle-a totale sont issues d'un traitement par l'algorithme bio-optique OC3-Med, dérivé de l'algorithme OC4 fourni par la NASA pour le satellite ACQUA-MODIS.

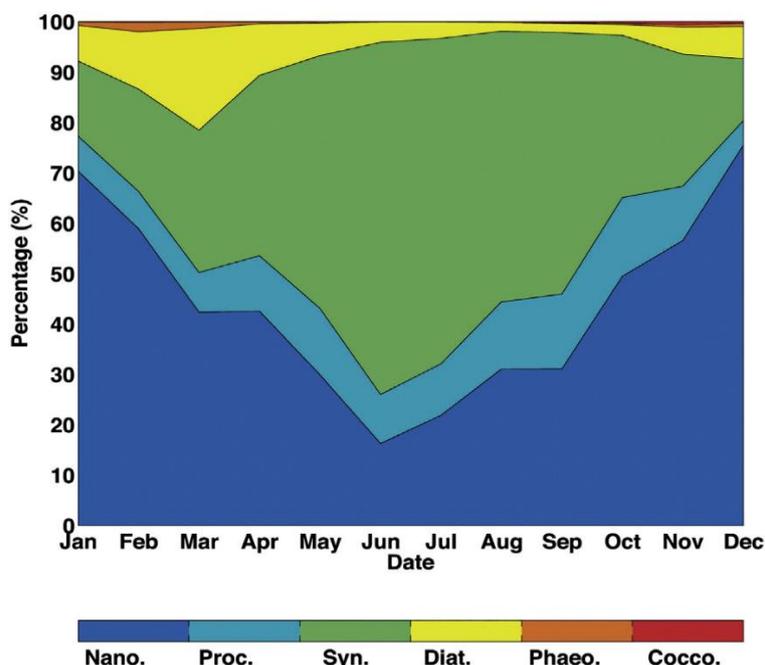


Source des données : Laboratoire d'océanologie de Villefranche sur Mer
Source du graphique : Gabriel Navarro, ICMAN-CSIC

Figure 1. Zones géographique (en vert) prises en compte par l'algorithme OC3MED-Physat avec indication des différents points de mesures *in-situ* des campagnes en mer

SODYF (<http://sodyf.obs-vlfr.fr/>) et BOUSSOLE (<http://www.obs-vlfr.fr/Boussole/html/home/home.php>).

L'association entre les PFTs identifiés et les mesures HPLC recensées est basée sur le ratio suivant : $P_{\text{relatif}} = P / (\text{Chla} + \text{DV-Chla})$, où DV-Chla est la concentration en divinyl-chlorophylle-a. La distribution mensuelle cumulée des groupes principaux sur 10 années alors obtenue pour le secteur délimité en vert sur la figure 1, est présenté ci-dessous (figure 2). Elle montre des oscillations caractéristiques correspondant aux blooms printaniers et automnaux qui débutent par une augmentation sensible du pourcentage des diatomées en mars et novembre. Celles-ci sont présentes majoritairement au printemps et surtout sur le littoral en aval des bassins versants ce qui explique le ratio inférieur à 10% observé dans la distribution à l'échelle régionale. La concentration en *Prochlorococcus* qui représente environ 5% du total est assez faible et régulière tout au long de l'année, avec une diminution en hiver au profit des autres espèces nanoeucaryotes, tandis que les *Synechococcus* deviennent l'espèce dominante avec un ratio qui dépasse les 50% durant la période estivale de mai à septembre. Des prymnésiophytes sont observées en faible quantité à moins de 3% sur l'emprise régionale ; elles sont en général plus nombreuses dans les zones littorales et dans les estuaires de rivières.



Source des données : Laboratoire d'océanologie de Villefranche sur Mer
Source du graphique : Gabriel Navarro, ICMAN-CSIC

Figure 2. Climatologie mensuelle des pourcentages d'apparition des principaux groupes phytoplanctoniques en mer Ligurie pour la période 2003-2012, calculée à l'aide de PHYSAT-MED et validée à partir des points de mesures SODYF et BOUSSOLE.

4 DESCRIPTION DE L'OUTIL PROTOTYPE OC5-PHYSAT

A l'échelle locale, il est nécessaire d'utiliser des outils capables d'offrir les meilleures résolution et précision possibles notamment pour le calcul des concentrations totales en chlorophylle-a. Même l'algorithme officiel de la NASA (OC4), était applicable aux les images MODIS en Méditerranée en eaux quasi oligotrophes, nous avons préféré partir de l'algorithme IFREMER OC5 qui offre une meilleure prise en compte des zones littorales où la turbidité est plus importante. Ce choix découle logiquement de l'expérience Ifremer en Manche/Mer du Nord et des meilleurs résultats que donne cet algorithme en présence de MES non-algale dans les zones côtières méditerranéennes.

Les procédures de manipulation d'image ont été extraites de la bibliothèque logicielle OC5 écrite en langage IDL pour constituer la première brique du prototype indiqué (1) sur la figure 3 ci-dessous. Elle permet de sélectionner une zone de travail sous la forme d'une grille carrée de $N \times N$ km et d'effectuer un premier filtrage sur les données de réflectance (nLw) pour les 5 canaux satellite correspondant aux longueurs d'onde 412, 443, 488, 531 et 547 nm. Ce filtrage permet d'éliminer les points non-conformes (réflectances négatives, nuages etc). La réflectance 667 nm n'est pas utilisée. Les images brutes sont « krigées » spatialement puis interpolées lors des courtes périodes nuageuses. Les matrices en sortie contiennent les niveaux de réflectance sur les différentes longueurs d'onde, les concentrations en chlorophylle-a totale et les MES non-algales calculées pour chaque observation journalière.

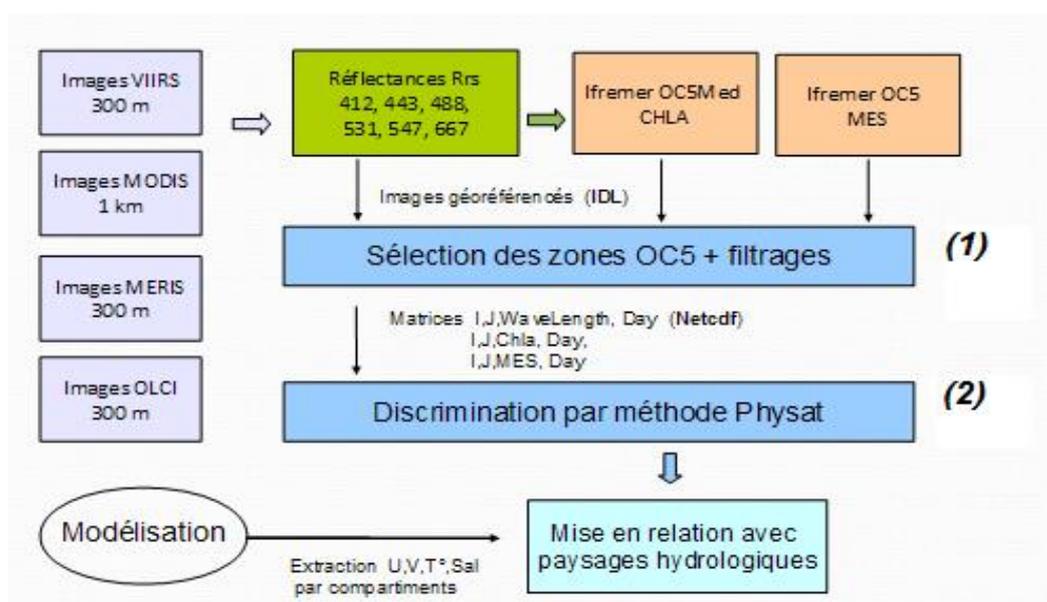
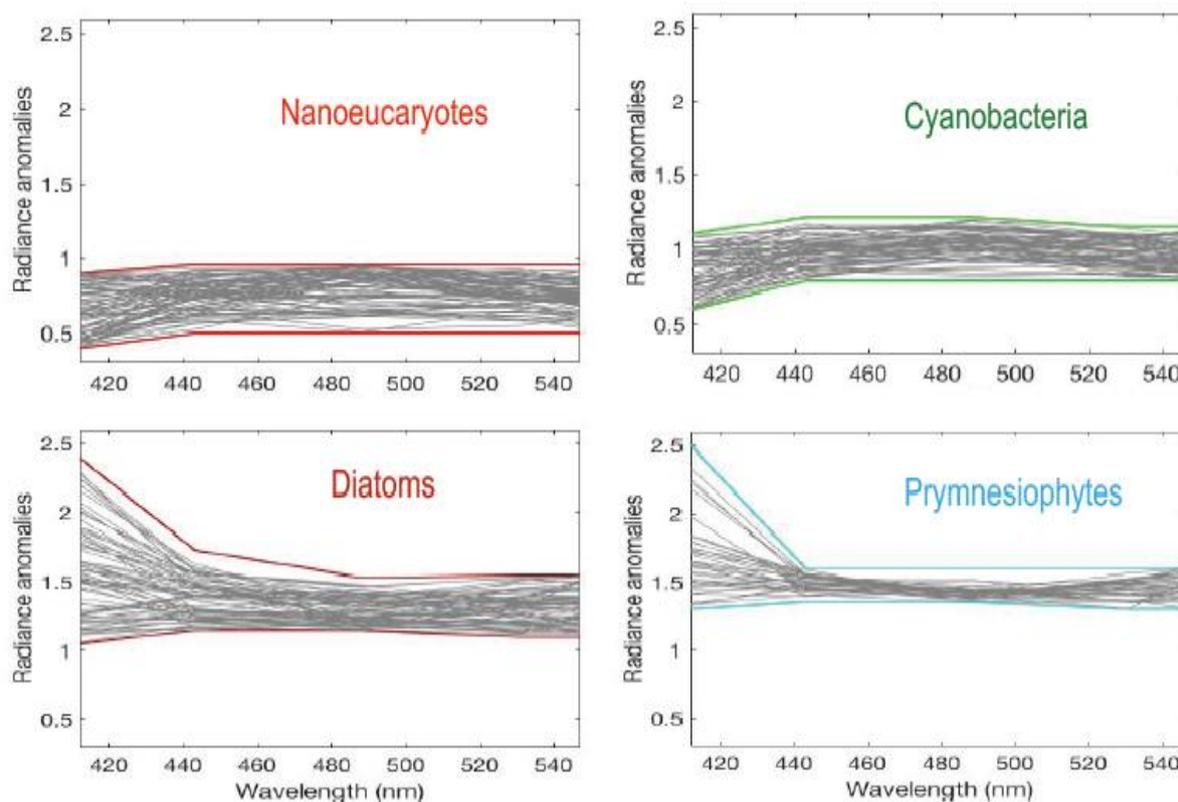


Figure 3. Synoptique général de l'algorithme OC5-PHYSAT.

La deuxième brique logicielle, indiquée (2) sur la figure 3, est écrite en MATLAB. Elle permet de relire ces fichiers au format NetCDF puis d'appliquer une version « Ifremer » de la méthode spectrale PHYSAT qui réalisera la discrimination des quatre groupes phytoplanctoniques suivants : les **Diatomées**, les **Cyanobactéries**, les **Prymnésiophycées** et enfin toutes les autres espèces regroupées sous le titre générique de « **Autres-Nanoeucaryotes** ». Les cyanobactéries comprennent les *Prochlorococcus* et les *Synechococcus* qu'il est possible de distinguer dans les résultats finaux.

La classification des résultats est ensuite opérée en comparant les spectres d'anomalie obtenus sur chaque point d'observation MODIS avec les formes spectrales caractéristiques de chacun de ces groupes dont les minima et maxima sont représentés par des traits de couleur sur la figure 4 ci-dessous. Les ratios d'anomalies respectivement à la composante principale de chlorophylle-a y sont représentés en ordonnée (grandeurs sans dimension). Les longueurs d'onde en abscisse déterminent la plage spectrale.



Source des données : LSIS-Université de Toulon et IFREMER, laboratoire ODE/LERPAC

Figure 4. « Spectres d'anomalies » caractéristiques des luminances normalisées pour le site de CALVI sur une année de référence en 2015. Les plages spectrales sont délimitées par les courbes en couleur.

L'algorithme de discrimination est basé sur une table de coefficients charnières correspondants aux « ratios d'anomalies » calculés comme suit:

$$\text{Radiances_anomalies}(\lambda) = \text{réflectance_modis } nLw(\lambda) / \text{Tchl}a\text{-moyenne}(\lambda)$$

$$\text{Tchl}a\text{-moyenne}(\lambda) = \sum_{j=1}^{365} \sum_{x=1}^{25} (\text{OC5_nLW}_{jx}(\lambda)_{\text{Tchl}a}) / (365 \cdot 25)$$

$$\text{OC5_nLW}_{jx}(\lambda, j, x)_{\text{Tchl}a} = \text{Fonction_empirique_rapport_bleu_vert}(\lambda, j, x)$$

Après calibration, des intersections entre les coefficients charnières des différentes longueurs d'onde pour chaque spectre caractéristique ont été introduites dans la version locale de l'algorithme afin de diminuer les taux de rejet de la classification.

La détection des Nano-eucaryotes a également été étendue en augmentant la fourchette maximale dans le Bleu (412 nm) pour certains spectres.

Enfin, des critères additionnels ont été introduits sur chaque PFT pour compenser les intersections entre classes.

Espèces	Bleu	Cyan	Vert	Critères additionnels
Nanoecaryotes1 min.	0.2000	0.3000	0.3000	Première détection : Niveaux de réflectances faibles. Seconde détection: Bleu > Cyan > Vert faibles
Nanoecaryotes1 max.	0.9001	0.9601	1.1001	
Nanoecaryotes2 min.	0.9000	0.3000	0.3000	
Nanoecaryotes2 max.	1.0001	0.8501	0.8501	
Prochlorococcus min.	0.6000	0.8500	0.8500	Cyan <~ Vert 443nm faible + pic 488nm
Prochlorococcus max.	1.2001	1.1001	1.2501	
Synechococcus min.	0.7000	0.9800	0.9000	Cyan >~ Vert 443nm = 488nm faibles
Synechococcus max.	1.2001	1.5001	1.1601	
Diatoms min.	1.1000	1.2000	1.0500	Niveaux de réflectances forts 412nm < 443nm 488nm > 547nm
Diatoms max.	3.0001	1.7001	1.7001	
Prymnésiophycées min.	1.4000	1.4500	1.3000	Niveaux de réflectances forts 412nm < 443nm 488nm < 547nm
Prymnésiophycées max.	3.0001	1.7001	1.7001	

Tableau 1. Seuils charnières des ratios d'anomalies utilisés pour la classification des PFT dans la version 6 de l'algorithme OC5-PHYSAT.

5 CALCUL DES CONCENTRATIONS DE CHLOROPHYLLE-A TOTALE PAR OC5-MED SUR DEUX SITES DE REFERENCE EN REGIONS OCCITANIE ET SUD-PACA

L'algorithme OC5 développé par l'Ifremer à Brest (Gohin et al., 2002, 2014) a été précédemment mis en application dans le cadre de la DCE afin de caractériser les masses d'eau côtières pour trois paramètres essentiels : la concentration totale en chlorophylle-a (CHLA), la quantité de matières solides en suspension (MES non-algues) et la turbidité moyenne des eaux.

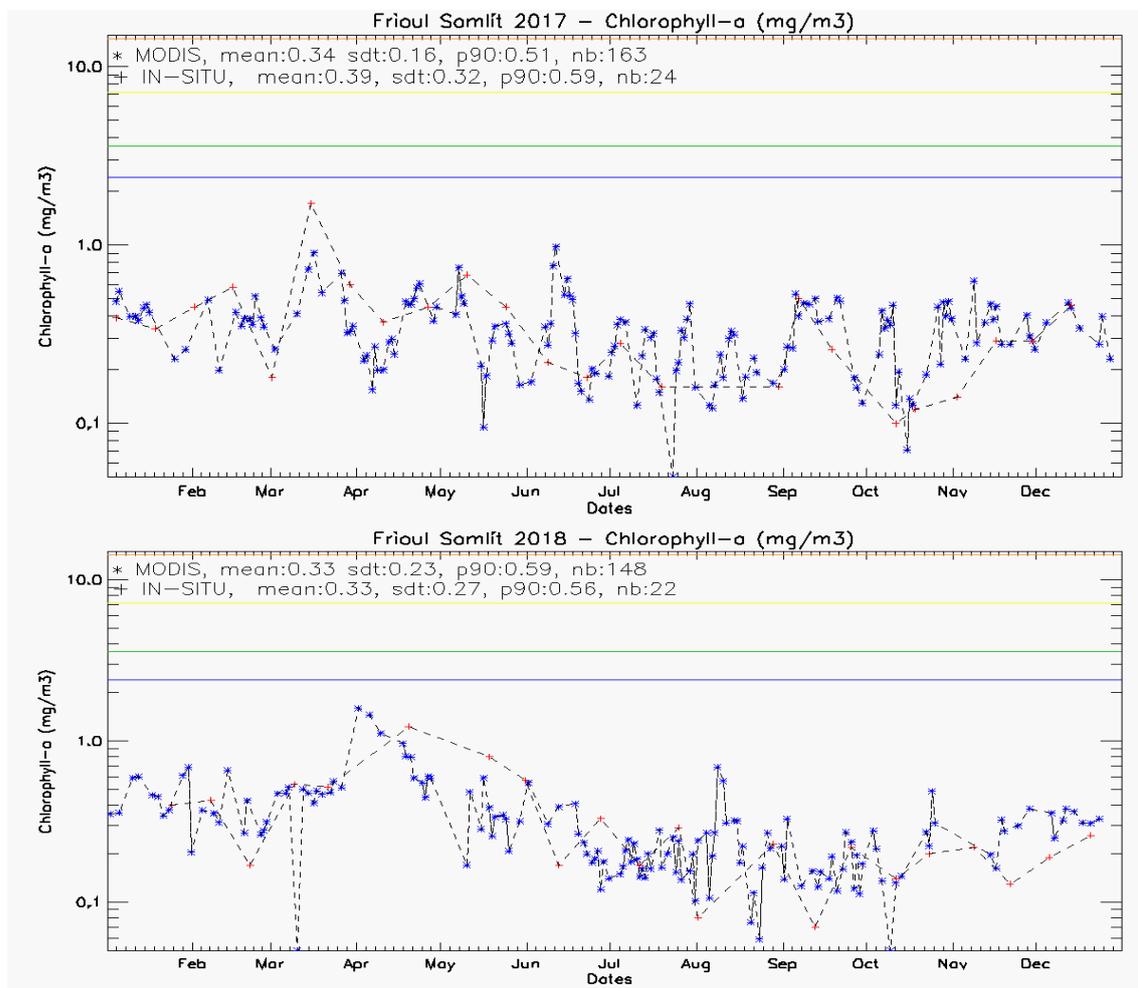
La méthode utilisée consiste dans un premier temps à récupérer les images du satellite NASA/AQUA-MODIS qui contiennent les réflectances marines après corrections atmosphériques, dans les longueurs d'ondes allant de 412 nm à 555 nm (5 canaux). Dans un second temps, il s'agit d'appliquer à ces réflectances une version d'OC5 dont les seuils ont été abaissés à $0.1 \mu\text{g.L}^{-1}$ pour la Méditerranée, afin de générer les trois paramètres CHLA, MES et turbidité suivant une méthode de calcul décrite en détail dans le rapport IFREMER RST/LER-PAC/08-06 (Ganzin et al., 2008) .

La base de données à 1 km de résolution obtenue en sortie contient les informations suivantes : (i) les percentiles 90 (P90) des concentrations pour la CHLA cumulées sur 2010-2016 pour des valeurs comprises entre 0.1 et 15 microgrammes par litre, (ii) les P90 des concentrations de MES non-algues cumulées sur 2010-2016 pour des valeurs comprises entre 0 et 15 milligrammes par litre.

La validité des données numériques obtenues a pu être vérifiée précédemment sur le point de référence Calvi (Goffart 2019), ainsi que sur un certain nombre de stations de mesures *in situ* déployées sur le long terme par le réseau de surveillance phytoplanctonique REPHY et le réseau d'Observation du Milieu littoral SOMLIT. Le taux d'erreur établi par comparaison des niveaux de CHLA mesurés avec ceux calculés par OC5 ne dépasse pas 10% en moyenne.

Pour compléter cette validation, les séries de mesure de concentration en chlorophylle-a totale obtenues par traitement OC5 sur les données satellitaires ACQUA/MODIS sont comparées avec les résultats d'analyse HPLC pour 2017 et 2018 obtenus sur les données SOMLIT des deux sites retenus Marseille-Frioul et Banyuls-Sola.

5.1 VALIDATION DES DONNEES DE CHLOROPHYLLE-A AU POINT SOMLIT MARSEILLE-FRIOUL

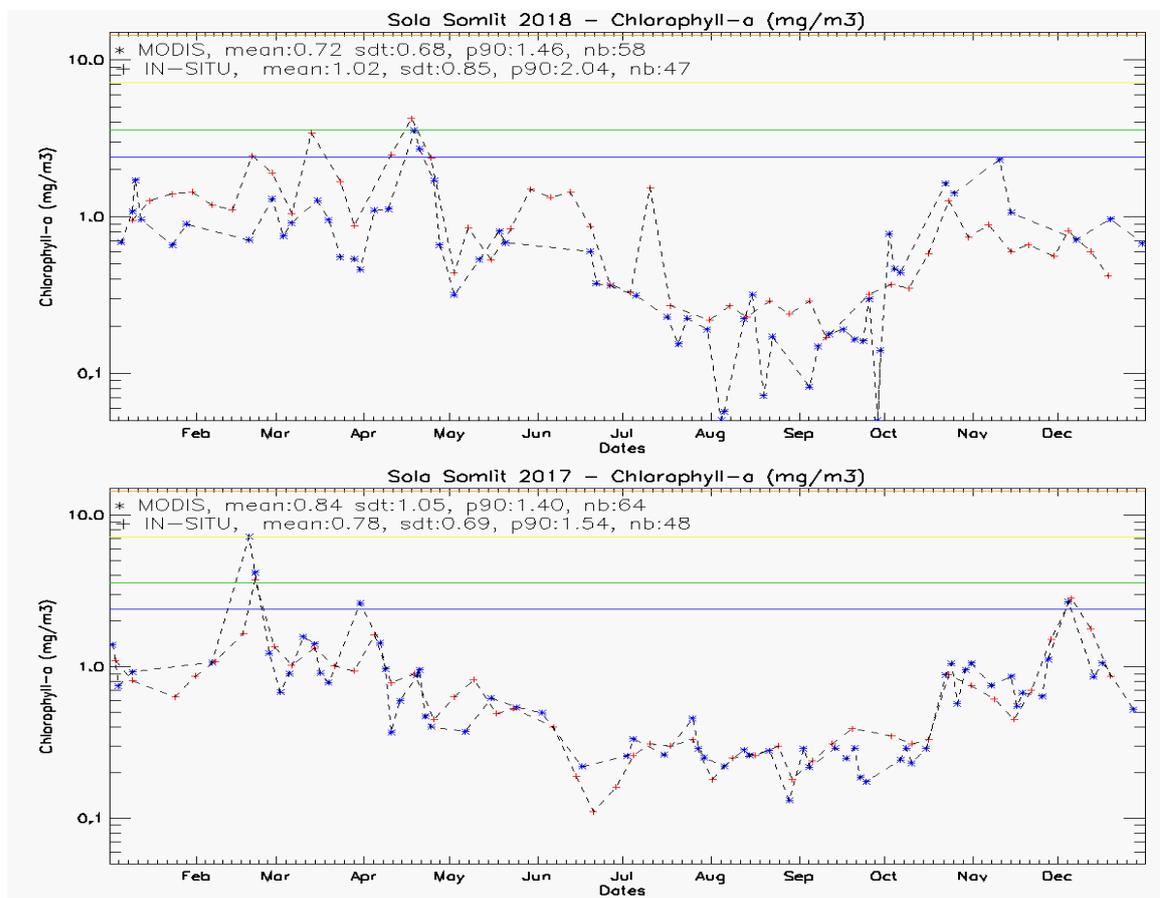


Source des graphes : Données SOMLIT EPOC Bordeaux et MODIS traitées par ARGANS-Brest

Figure 5. Superposition des concentrations en chlorophylle-a totales obtenues par OC5 sur données MODIS (en bleu) et analyses HPLC sur prélèvements *in situ* (en rouge) au site SOMLIT Marseille-Frioul.

Pour le premier site « Marseille-Frioul », les valeurs déduites des images satellite collent parfaitement, aux incertitudes de mesure près, avec les données relevées *in situ*, hormis pour une mesure de la chlorophylle-a totale en mars 2017 à $2 \mu\text{g.L}^{-1}$ contre $1 \mu\text{g.L}^{-1}$ pour l'estimation satellitaire. Par ailleurs, les concentrations inférieures à $0.15 \mu\text{g.L}^{-1}$ ne sont pas considérées comme significatives car en dessous du seuil de détection de la mesure satellite.

5.2 VALIDATION DES DONNEES DE CHLOROPHYLLE-A AU POINT SOMLIT BANYULS-SOLA



Source des graphes : Données SOMLIT EPOC Bordeaux et MODIS traitées par ARGANS-Brest

Figure 6. Superposition des concentrations en chlorophylle-a totales obtenues par OC5 sur données MODIS (en bleu) et analyses HPLC sur prélèvements *in situ* (en rouge) au site SOMLIT Banyuls-Sola.

Pour le second site SOMLIT, le point satellite est plus éloigné de la côte et donne donc des estimations plus « moyennées » qui restent cependant très proches des valeurs mesurées *in situ*. Les pics de concentration à environ $3 \mu\text{g.L}^{-1}$ en février et en décembre 2017 (périodes de bloom) sont correctement observés. En 2018 en revanche la couverture nuageuse au mois de juin n'a pas permis d'estimer correctement les concentrations d'environ $2 \mu\text{g.L}^{-1}$ dues à deux forts épisodes pluvieux. Pour le reste de l'année et notamment lors des blooms, les amplitudes estimées par satellite suivent bien les variations de niveaux élevés comprises entre $1 \mu\text{g.L}^{-1}$ et $3 \mu\text{g.L}^{-1}$. De même que pour le premier site les concentrations inférieures à $0.15 \mu\text{g.L}^{-1}$ ne sont pas significatives car noyées dans le bruit de la mesure satellite.

6 VALIDATION PLURIANNUELLE DES RESULTATS OC5-PHYSAT SUR LE SITE DE CALVI (2012-2015)

Pour valider les résultats obtenus par imagerie satellitaire, il est nécessaire de se référer à des mesures *in-situ* consistant à prélever régulièrement des échantillons d'eau en un point donné, filtrés sur place puis soumis en laboratoire à une analyse pigmentaire par HPLC. Chaque pigment identifié peut alors être relié à la présence d'un ou plusieurs groupes phytoplanctoniques particuliers.

Ce travail a été effectué sur le site de référence de Calvi dit « Tête de Canyon » (Point jaune figure 7). Le canyon est identifiable par les lignes d'isobathes et est situé en eaux claires oligotrophes.

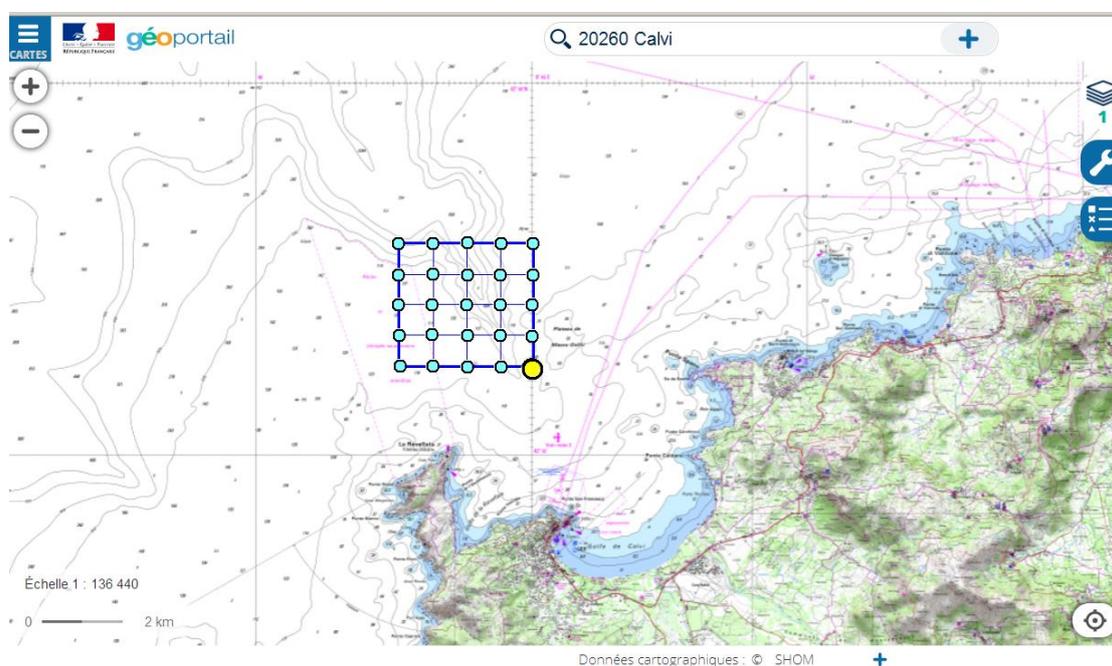


Figure 7. Grille d'observation MODIS près de Calvi en Corse en eaux claires oligotrophes
- point jaune = point de prélèvement pour analyses HPLC en Tête de Canyon.
- points bleus = pixels de la grille d'observation MODIS à 1km de résolution.

Le point « Tête de canyon » avait été choisi précédemment comme site de référence en Corse pour la réalisation d'un nouvel indice de composition phytoplanctonique mieux adapté aux spécificités des eaux méditerranéennes (Goffart et Andral 2014). Il avait permis notamment de déterminer la succession saisonnière des principaux groupes dans ce secteur.

6.1 ANALYSE DES CONCENTRATIONS EN CHLOROPHYLLE-A TOTALES ET VALIDATION DES CONCENTRATIONS EN CHLOROPHYLLE-A PAR MESURE IN SITU

Les graphes des données annuelles présentés en page suivante (figure 8) montrent les concentrations en chlorophylle-a totales calculées par analyse HPLC sur prélèvements *in situ* (en rose) superposées aux données hebdomadaires résultant du traitement par OC5 des mesures MODIS (en noir) de 2012 à 2015. Les amplitudes des concentrations mesurées par le satellite MODIS sont moyennées spatialement dans une grille de 5km x 5km sur 25 points et couvrent pour moitié la superficie du canyon suivant la diagonale de la grille (figure 7). Les écarts moyens d'amplitude relevés pour chaque année, par rapport aux données *in situ* sont approximativement de -20% en 2012, 2013 et 2014 et de -5% en 2015.

Pour l'année 2012, la mesure HPLC montre deux pics successifs en 7^{ème} semaine (15/02) et 12^{ème} semaine (22/03) durant le bloom printanier alors que la mesure satellitaire moyennée sur la grille d'observation ne fait apparaître que le 2^{ème} pic, le 1^{er} étant occulté par les nuages. La décroissance exponentielle observée par la suite est correctement reproduite, ainsi que l'augmentation progressive à partir de la 40^{ème} semaine (03/10), correspondant au bloom automnal.

En 2013, les deux pics secondaires HPLC sont au-dessus de la valeur satellite moyenne et le pic principal n'apparaît pas dans la donnée MODIS. Le bloom automnal est en revanche supérieur à la donnée *in situ*.

L'année 2014 est caractérisée par une absence de pic significatif et des concentrations plus faibles, approximativement bien reproduites par la donnée satellitaire avec des niveaux au printemps environ 20% inférieurs à la mesure *in situ*. Comme en 2013, le bloom automnal observé sur la grille de 25 km² donne des niveaux de concentration 2 fois supérieurs.

L'année 2015 met en évidence une augmentation progressive des concentrations jusqu'en 10^e semaine puis une succession de trois pics à environ 800 ng.L⁻¹ correctement représentés. La décroissance à partir de la 15^e semaine (11/04) est de type exponentiel comme déjà observé pour les 3 années précédentes.

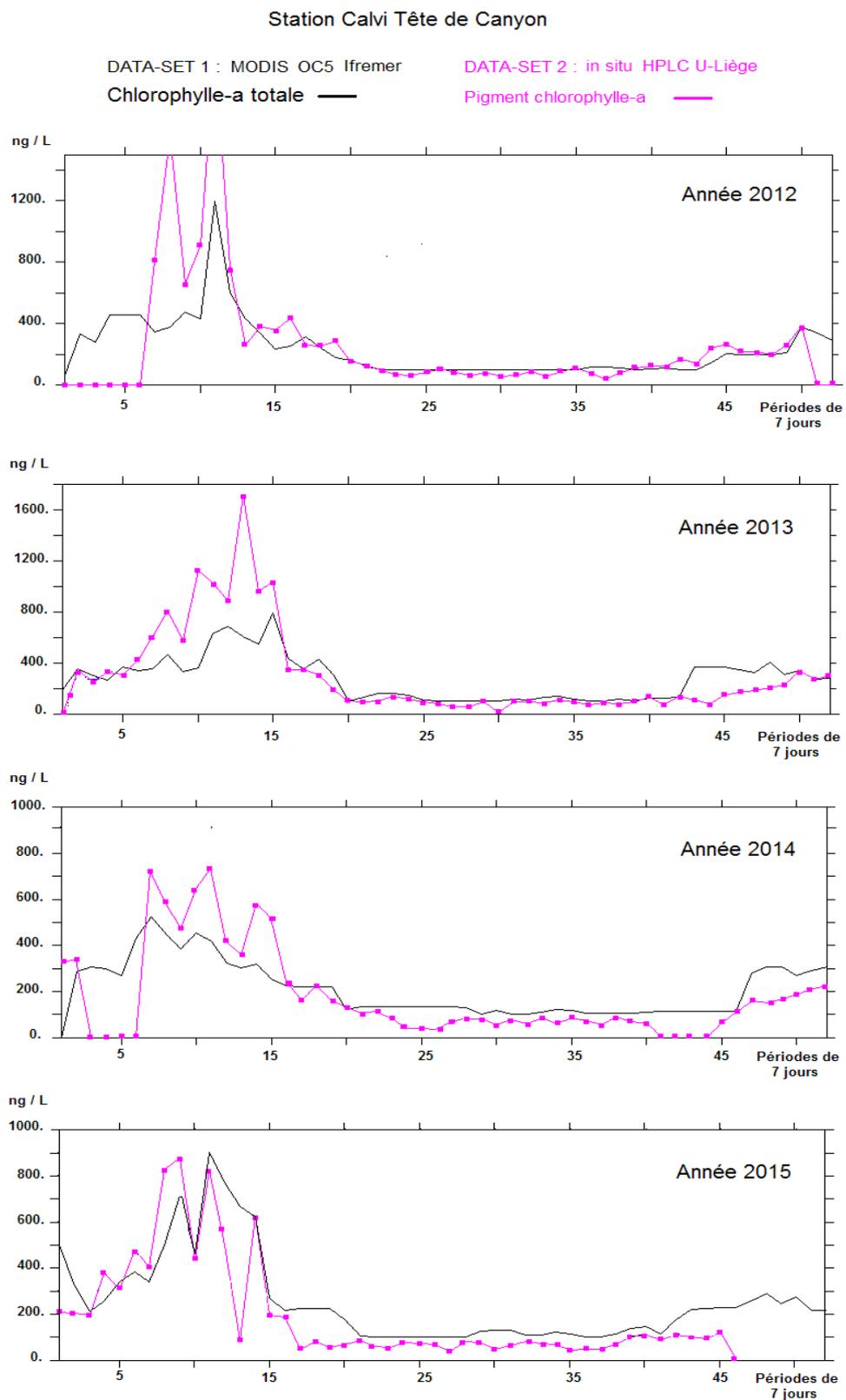


Figure 8. Superposition des mesures de chlorophylle-a totale hebdomadaires obtenues par HPLC (en rose) et de la donnée satellite traitée par OC5 moyennée sur 7 jours (en noir).

Pour mieux cerner l'importance de l'ensoleillement sur la qualité des données, on donne en figure 9 la superposition du traitement journalier par OC5 des données MODIS 2012 et 2013 (en noir) avec les concentrations en chlorophylle-a totales calculées par analyse HPLC des différents prélèvements hebdomadaires réalisés en Tête de Canyon (en rose) et l'ensoleillement mesuré par satellite SSI (en couleur cyan).

Ces informations non moyennées font apparaître pour l'année 2012 des concentrations journalières identiques au moment du second pic de bloom avec une valeur de chlorophylle-a totale à environ 2100 ng.L⁻¹ le jour du prélèvement mais qui tombe à 1200 ng.L⁻¹ après moyennage hebdomadaire. Le premier pic en revanche n'est pas observé par le satellite en raison de l'ensoleillement insuffisant ce jour-là, identifié par un carré bleu marine sur le graphe ci-dessous à une valeur de 50 W.m⁻².

Pour l'année 2013, on observe de même une valeur correcte du dernier pic le 100e jour (10/04) à environ 1200 ng.L⁻¹ alors que la valeur estimée par OC5 n'est que de 600 ng.L⁻¹. De plus, les 2 autres pics antérieurs en 10^{ème} semaine (08/03) et 13^{ème} semaine (30/03) n'ont pas été observés par le satellite, en raison de la couverture nuageuse. Effectivement, les 45^{ème} et 50^{ème} jours (14/02 et 19/02), l'ensoleillement mesuré est assez faible aux alentours de 200 W/m².

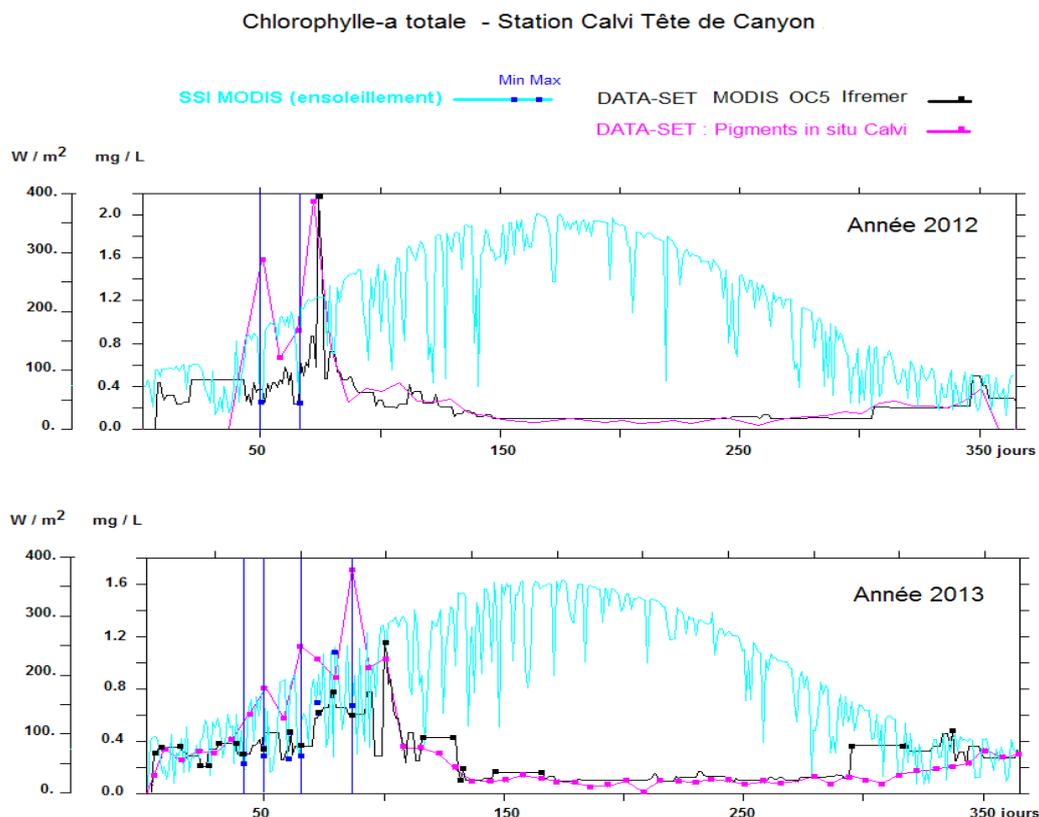


Figure 9. Superposition de la SSI MODIS 2013 avec les concentrations de chlorophylle-a obtenues par HPLC sur données *in situ* (en rose) et celles obtenues par OC5 (en noir)

6.2 CALCUL DES CONCENTRATIONS EN PIGMENTS SECONDAIRES SUR QUATRE ANNEES

Pour obtenir les courbes annuelles correspondant à chacun des 4 groupes dominants, les pixels d'image ont été moyennés spatialement sur toute la grille 5 km x 5 km, soit sur 25 mesures satellitaires réalisées chaque jour à midi (satellite héliosynchrone) à partir d'images « krigées » et interpolées permettant d'obtenir une continuité des données dans les zones où la couverture nuageuse n'est pas trop importante. Les données obtenues ont été de nouveau moyennées temporellement sur une période d'une semaine. Les concentrations annuelles ainsi obtenues sont ensuite superposées à la mesure des pigments principaux de chaque groupe obtenue par analyse HPLC sur des échantillons prélevés une fois par semaine au point de référence dit « Tête de Canyon » dans la Baie de Calvi. Les cinq groupes distingués par l'algorithme de classification OC5-PHYSAT sont dans l'ordre les *Prochlorococcus*, les *Synechococcus*, les diatomées, les prymnésiofycées et enfin les autres nano-eucaryotes regroupant toutes les cellules ayant une réponse spectrale plutôt « plate » à savoir d'amplitude assez faible.

Pour les cyanobactéries, la technique de dosage par HPLC permet de distinguer deux pigments : la zéaxanthine, présente dans les *Synechococcus* et les *Prochlorococcus* et la divinyl-chlorophylle a présente uniquement chez les *Prochlorococcus* et directement comparable avec la mesure satellitaire (couleur majoritaire verte dans le spectre de réflectance). Pour comparer la concentration en zéaxanthine avec les résultats OC5-PHYSAT, on a donc additionné les deux signaux correspondant aux *Prochlorococcus* et aux *Synechococcus*. Inversement, pour obtenir les concentrations spécifiques de *Synechococcus*, on a soustrait la divinyl-chlorophylle a de la mesure HPLC totale de zéaxanthine. Il faut noter que la zéaxanthine est présente également dans les cellules de chlorophycées et de prasinophycées et il est donc normal que cette mesure HPLC soit généralement supérieure aux concentrations en cyanobactéries estimées après analyse spectrale du signal satellite.

Pour les diatomées, le pigment principal qui les distingue est la fucoxanthine, tandis que pour le groupe des haptophycées (prymnésiofycées), il s'agit de la 19'HF (HexanoyloxyFucoxanthine). Enfin, pour la dernière classe regroupant toutes les autres espèces à faible réflectance et majoritairement constituées de nano-eucaryotes de divers types, les pigments suivants ont été regroupés : la péricidine pour les dinoflagellés, la prasinoxanthine, pour les prasinophycées, l'alloxanthine, pour les cryptophycées, la 19'BF (ButanoyloxyFucoxanthine) pour les pélagophycées, et enfin la violaxanthine pour les chlorophycées et les prasinophycées.

6.2.1 Concentrations en cyanobactéries

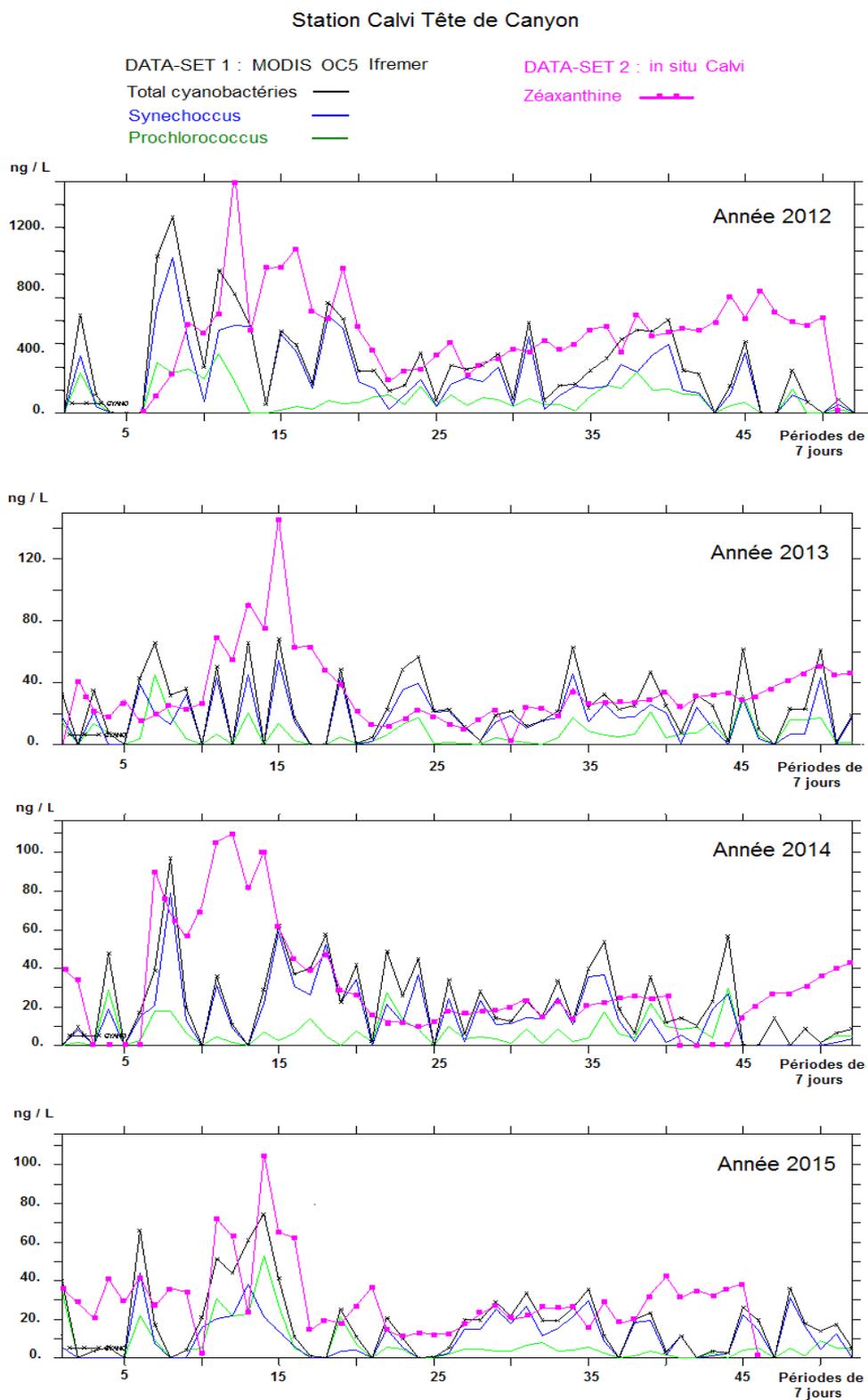


Figure 10. Superposition des concentrations de zéaxanthine obtenues par HPLC sur données *in situ* (en rose) et des concentrations en cyanobactéries obtenues par OC5-PHYSAT (en noir).

Les résultats obtenus pour les cyanobactéries avec l'algorithme OC5-PHYSAT (en noir figure 10) sont la plupart du temps bien représentatifs des concentrations relevées sur le site Calvi « Tête de canyon » (figure 10).

En 2012, le satellite détecte quatre pics de *Synechococcus* en fin d'hiver avec des valeurs autour de 80 ng.L^{-1} qui tendent à décroître jusqu'en 20^{ème} semaine (15/05). La mesure HPLC donne globalement des valeurs comparables sauf pour la 12^{ème} semaine (20/03) où la valeur est exceptionnellement supérieure à environ 100 ng.L^{-1} . Les concentrations observées en début d'automne sont équivalentes mais s'écroulent rapidement ensuite dans le signal satellite à partir de la 40^{ème} semaine (03/10) : l'hypothèse privilégiée est celle d'un signal perturbé en raison d'une plus faible luminosité en fin d'automne ne permettant pas une détection correcte des cyanobactéries.

En 2013, les trois pics successifs entre la 10^e semaine (08/03) et 15^e semaine (12/04) sont bien reproduits avec des valeurs là aussi légèrement plus faibles aux alentours de 60 ng.L^{-1} . De même qu'en 2012, le pic principal mesuré par HPLC atteint la valeur exceptionnelle de 110 ng.L^{-1} . La décroissance jusqu'en 20^{ème} semaine (17/05) puis le rebond en 25^{ème} semaine (20/06) apparaissent bien dans les deux séries de mesures. La progression constante ensuite jusqu'en automne est en moyenne assez bien observée par la mesure satellite.

En 2014, le bloom printanier de cyanobactéries assez soutenu de la 6^{ème} (08/02) à la 15^{ème} semaine (12/04) n'est que partiellement reproduit par la mesure satellitaire : les premier et troisième pics sont bien observés en 8^{ème} semaine (22/02) et 15^{ème} semaine (12/04) à 100 ng.L^{-1} et 60 ng.L^{-1} , respectivement. Entre ces deux périodes, le signal reste très faible, probablement par manque de données en raison d'images nuageuses et du « masquage » des autres groupes dominants durant le bloom de printemps par les spectres dominants.

En 2015 le signal satellite est meilleur tout au long de l'année et correspond assez bien aux concentrations pigmentaires HPLC, sauf en début d'automne entre la 40^{ème} semaine (04/10) et la 45^{ème} semaine (07/11) où il tombe à zéro toujours en raison d'une très faible luminosité.

En conclusion pour les cyanobactéries, une meilleure estimation des concentrations totales pourrait être obtenue en traçant simplement l'enveloppe du signal autour des pics durant la phase de bloom printanier jusqu'en 20^e semaine, puis durant la phase de bloom automnal à partir de la 40^e semaine. Entre les deux il serait possible d'opérer un simple lissage des points lorsque le signal est trop faible et en limite de détection du satellite. Sur les deux pages suivantes, les estimations séparées pour les Prochlorococcus et les Synechococcus viennent confirmer les remarques précédentes pour les 4 années : faiblesse du niveau des Prochlorococcus en fin d'automne tandis que le niveau des Synechococcus paraît mieux ajusté.

6.2.2 Concentrations en Prochlorococcus

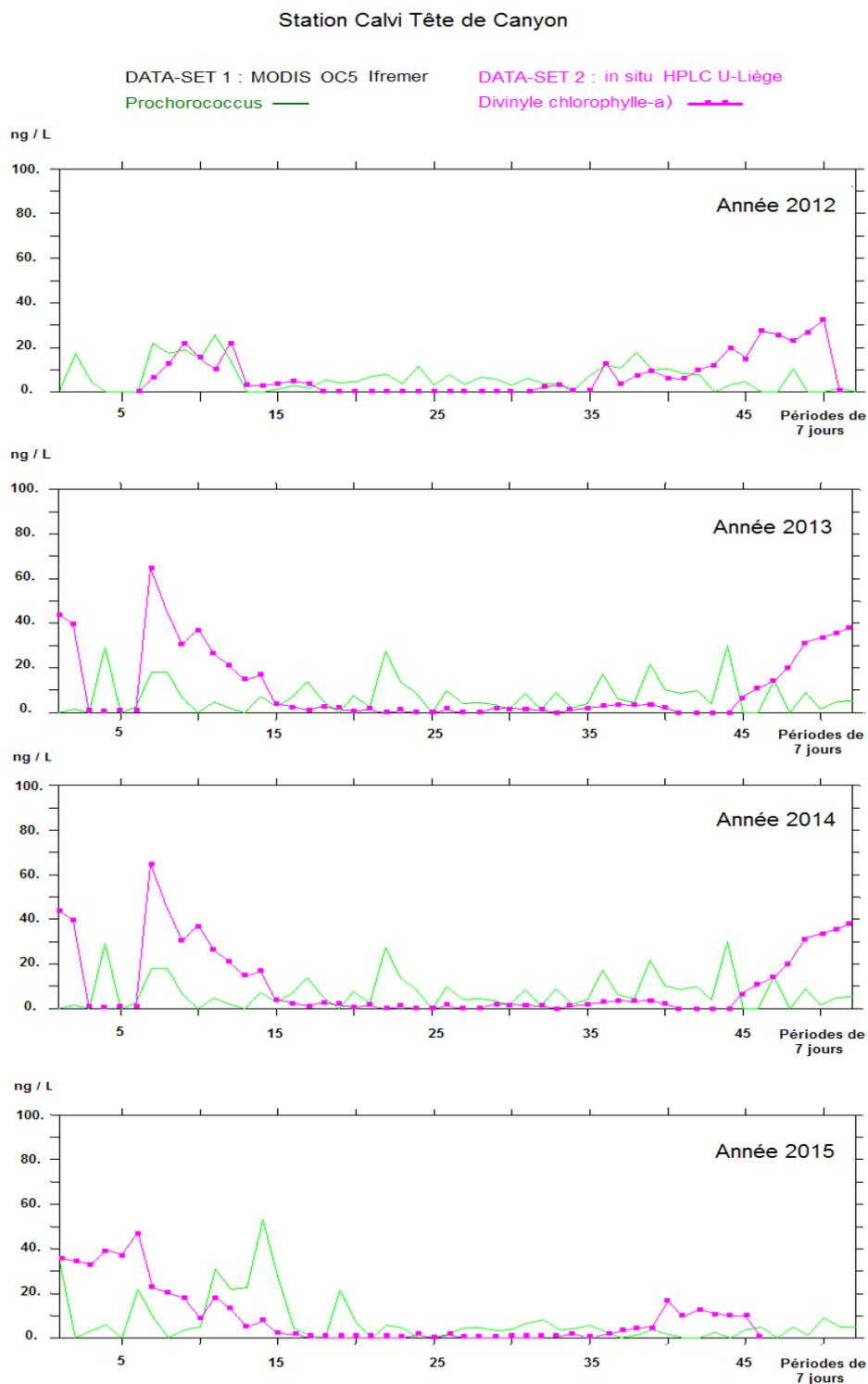


Figure 11. Superposition des concentrations de divinyl-chlorophylle-a) obtenues par HPLC sur données *in situ* (en rose) et des concentrations en *Prochlorococcus* obtenues par OC5-PHYSAT (en noir).

6.2.3 Concentrations en *Synechococcus*

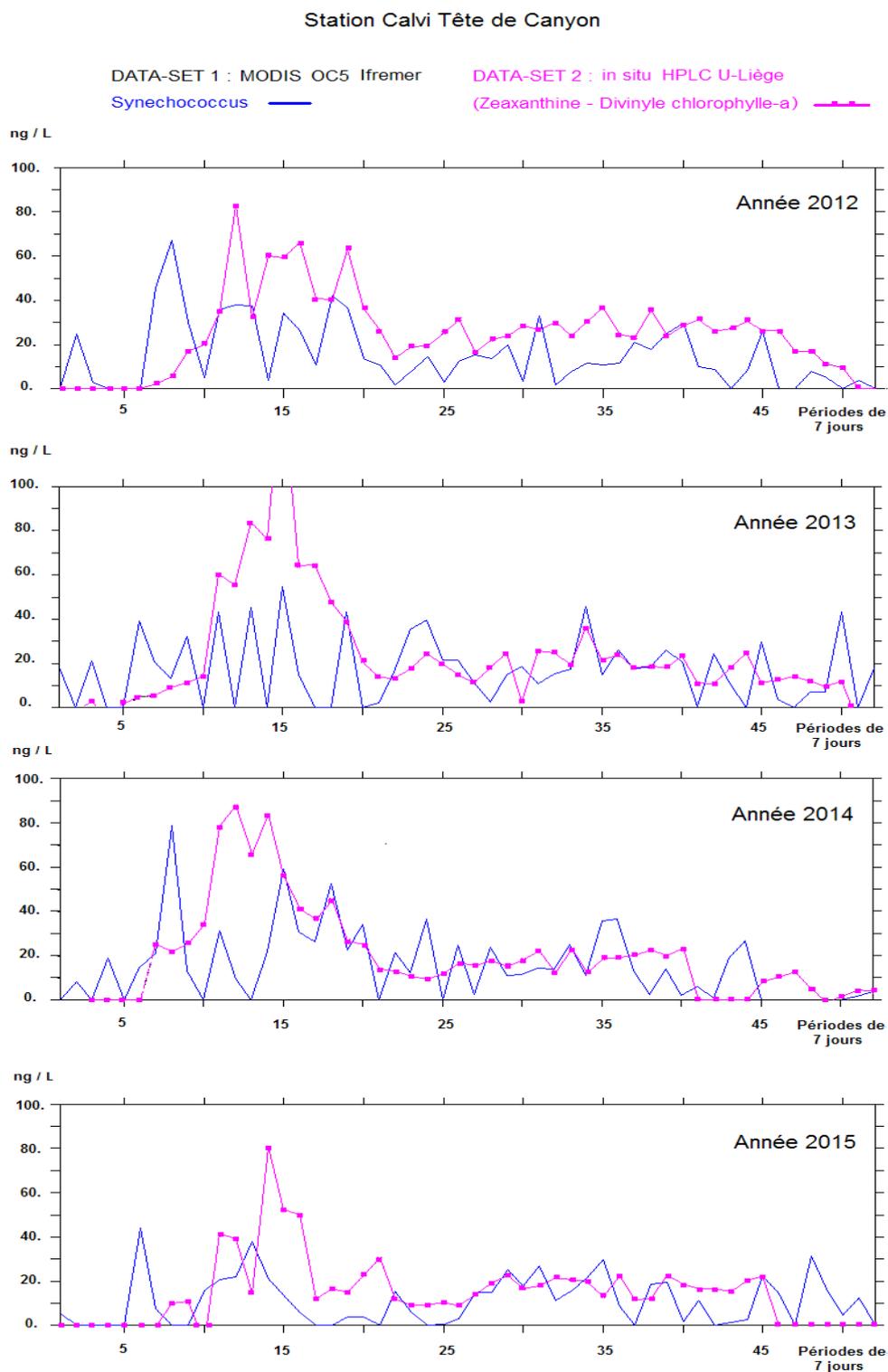


Figure 12. Superposition des concentrations de (zéaxanthine - divinyl-chlorophylle-a) obtenues par HPLC sur données *in situ* (rose) et des concentrations en *Synechococcus* obtenues par OC5-PHYSAT (noir).

6.2.4 Concentrations en diatomées

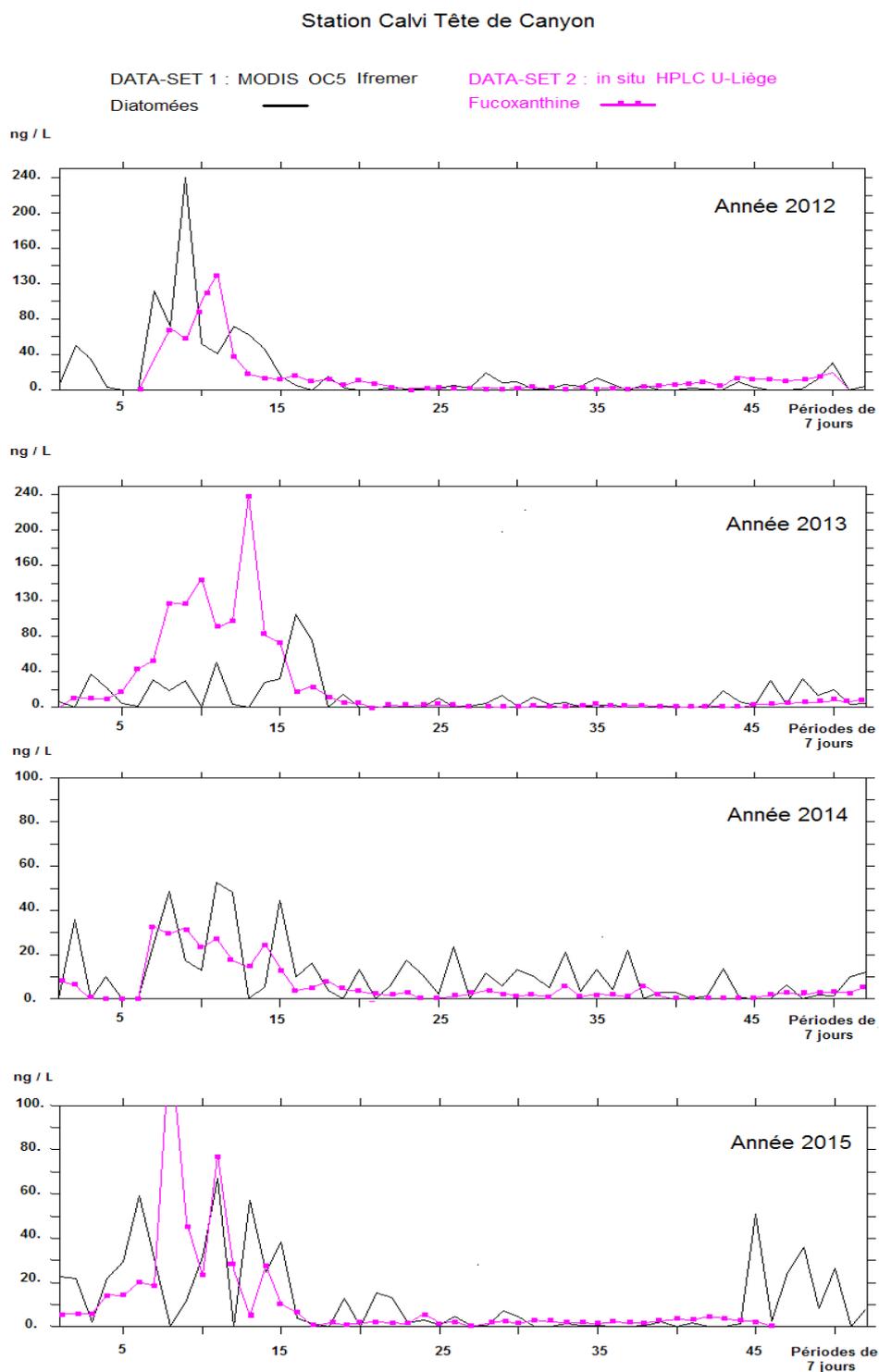


Figure 13. Superposition des concentrations de fucoxanthine obtenues par HPLC sur données *in situ* (en rose) et des concentrations en diatomées obtenues par OC5-PHYSAT (en noir).

Concernant les diatomées, le bloom printanier paraît moins bien représenté pour les 2 premières années.

Il est sur-estimé par le traitement satellitaire en 2012 qui fait apparaître un pic important en 9^{ème} semaine (01/03) à 240 ng.L⁻¹ non mesuré dans les prélèvements Tête de canyon qui montre un pic décalé et deux fois moins important en 11e semaine.

A l'inverse la concentration en diatomées apparaît très largement sous-estimée en 2013 par rapport à la mesure *in situ* réalisée en Tête de Canyon. Comme il avait déjà été remarqué au paragraphe 6.1 pour la chlorophylle-a totale, le faible ensoleillement en début de printemps cette année-là ne permet pas une estimation correcte des concentrations moyennées sur une semaine entière et seuls apparaissent des pics journaliers plus faibles ou plus élevés que le signal moyen habituel, l'année 2013 ayant une estimation satellitaire de chlorophylle-a totale largement en dessous des valeurs mesurées en Tête de Canyon.

Les deux années 2014 et 2015 sont en revanche assez bien reproduites par la donnée satellitaire avec une enveloppe de courbe représentative des moyennes hebdomadaires mesurées par HPLC mais avec des valeurs hautes locales plus fortes, laissant supposer une production plus élevée au large près de l'œil des blooms dans la grille de 25 pixels satellite. Seul le pic principal en tête de canyon à 120 ng.L⁻¹ n'apparaît pas dans le traitement satellitaire qui donne une valeur quasi nulle directement liée à l'absence de signal en période nuageuse.

En conclusion pour les diatomées, le traitement satellitaire reproduit imparfaitement les amplitudes des concentrations à l'échelle locale en fonction des années avec un capteur MODIS qui reste très sensible aux baisses de luminosité et des phénomènes locaux qui peuvent être plus marqués que sur un domaine d'observation plus large. Néanmoins, les occurrences des pics en début d'année et les décroissances à la fin du printemps sont assez bien représentées.

6.2.5 Concentrations en prymnésiphytes

Station Calvi Tête de Canyon

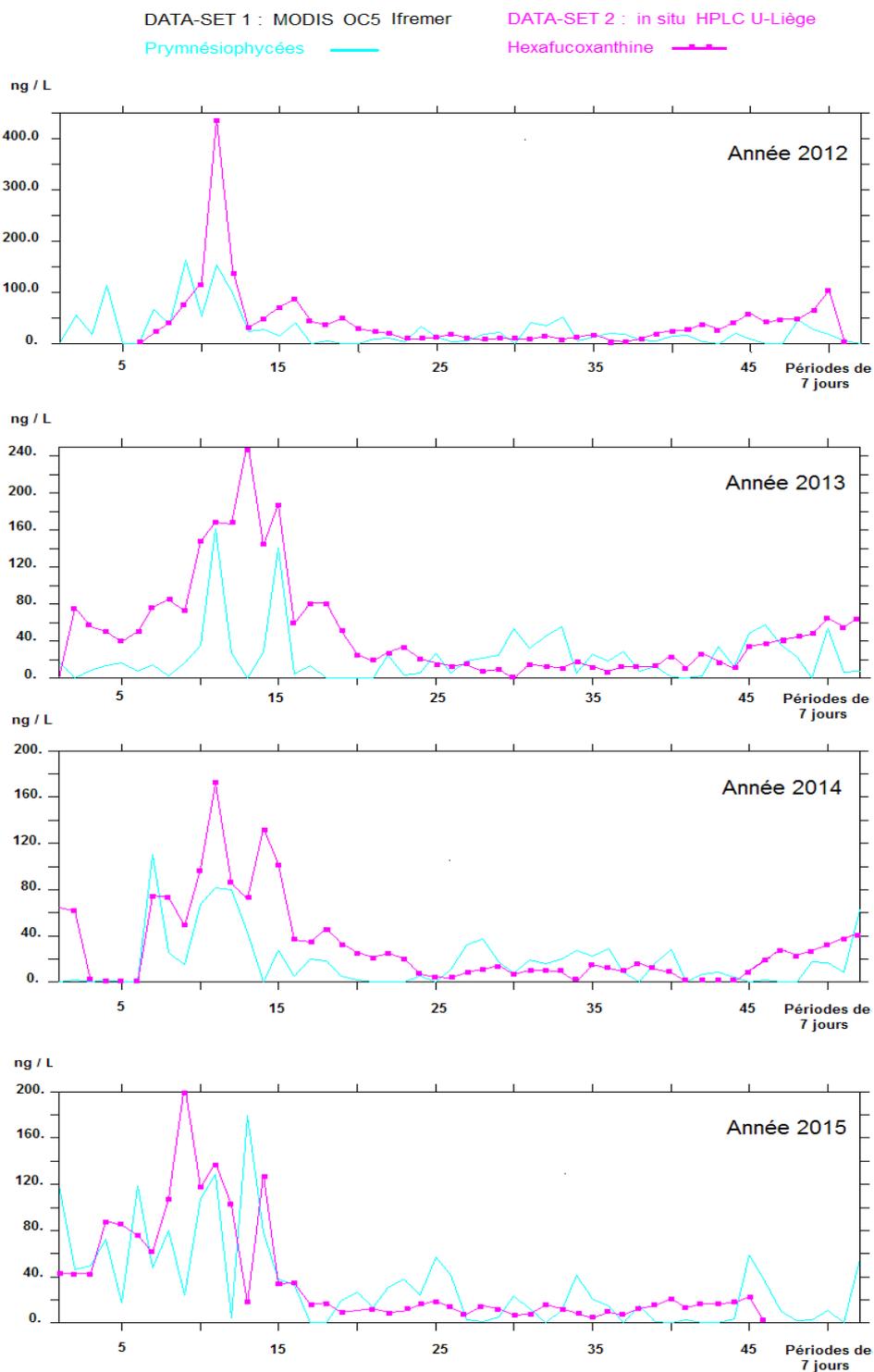


Figure 14. Superposition des concentrations de 19'hexafucoxanthine obtenues par HPLC sur données *in situ* (en rose) et de prymnésiphytes obtenues par OC5-PHYSAT (en noir).

Pour les prymnésiophycées qui arrivent consécutivement aux diatomées dans la succession phytoplanctonique, les concentrations relevées en 2012 sont correctement estimées sauf pour un seul prélèvement situé en 11e semaine qui fait apparaître un bloom de prymnésiophycées à 500 ng.L^{-1} en Tête de Canyon alors que le pic satellitaire n'est que de 100 ng.L^{-1} . C'est précisément ce bloom qui provoque un pic de chlorophylle-a totale *in situ* se situant bien au-delà des moyennes habituelles des autres années, le premier pic correspondant au bloom des diatomées (graphique Figure 9). Il est donc possible que ce second bloom ait été très local et moins bien observé quelques kilomètres plus au large : en effet, le signal satellite moyenné sur la grille $5\text{km} \times 5\text{km}$ reste quant à lui très cohérent avec les prélèvements adjacents en 10e et 12e semaine.

Pour l'année 2013 on observe que la quasi-totalité des concentrations hebdomadaires est bien en correspondance avec la donnée *in situ*, notamment pour les 2 pics situées en 10^{ème} semaine (08/03) et 15^{ème} semaine (11/04). Seul le pic central à 250 ng.L^{-1} n'est pas reproduit en 13^{ème} semaine (29/03): l'absence de donnée satellite (0 ng.L^{-1}) nous montre que la couverture nuageuse cette semaine-là était trop importante, phénomène confirmé par la très forte chute de l'ensoleillement à cette période ($< 400 \text{ W.m}^{-2}$) dans le graphique Figure 10. Comme pour les diatomées, seule l'enveloppe moyenne du signal hors nuages serait donc à prendre en compte pour obtenir une meilleure estimation du bloom printanier.

Pour les deux années suivantes 2014 et 2015, les variations de la donnée satellitaire sont bien en correspondance avec les mesures *in situ* excepté pour les pics de bloom qui sont fortement atténués, phénomène déjà observé sur les deux années précédentes et pouvant résulter d'une sur-production locale de prymnésiophycées en Tête de canyon. Seul un prélèvement à effectuer plus au large en période de bloom pourrait venir confirmer cette hypothèse.

Dans tous les cas, la remontée des concentrations en prymnésiophycées en fin d'automne à partir de la 44^{ème} semaine (01/11) et en début d'hiver est assez bien observée chaque année par le satellite avec une amplitude similaire atteignant environ 50 ng.L^{-1} au mois de décembre.

En conclusion, pour les prymnésiophycées qui sont de taille supérieure à celle des diatomées et qui offrent donc une meilleure réflectance de la lumière, les traitements satellitaires donnent des résultats plus proches de la mesure HPLC, même en période hivernale et lors des faibles couvertures nuageuses.

6.2.6 Concentrations en autres bactéries (majoritairement nano-eucaryotes)

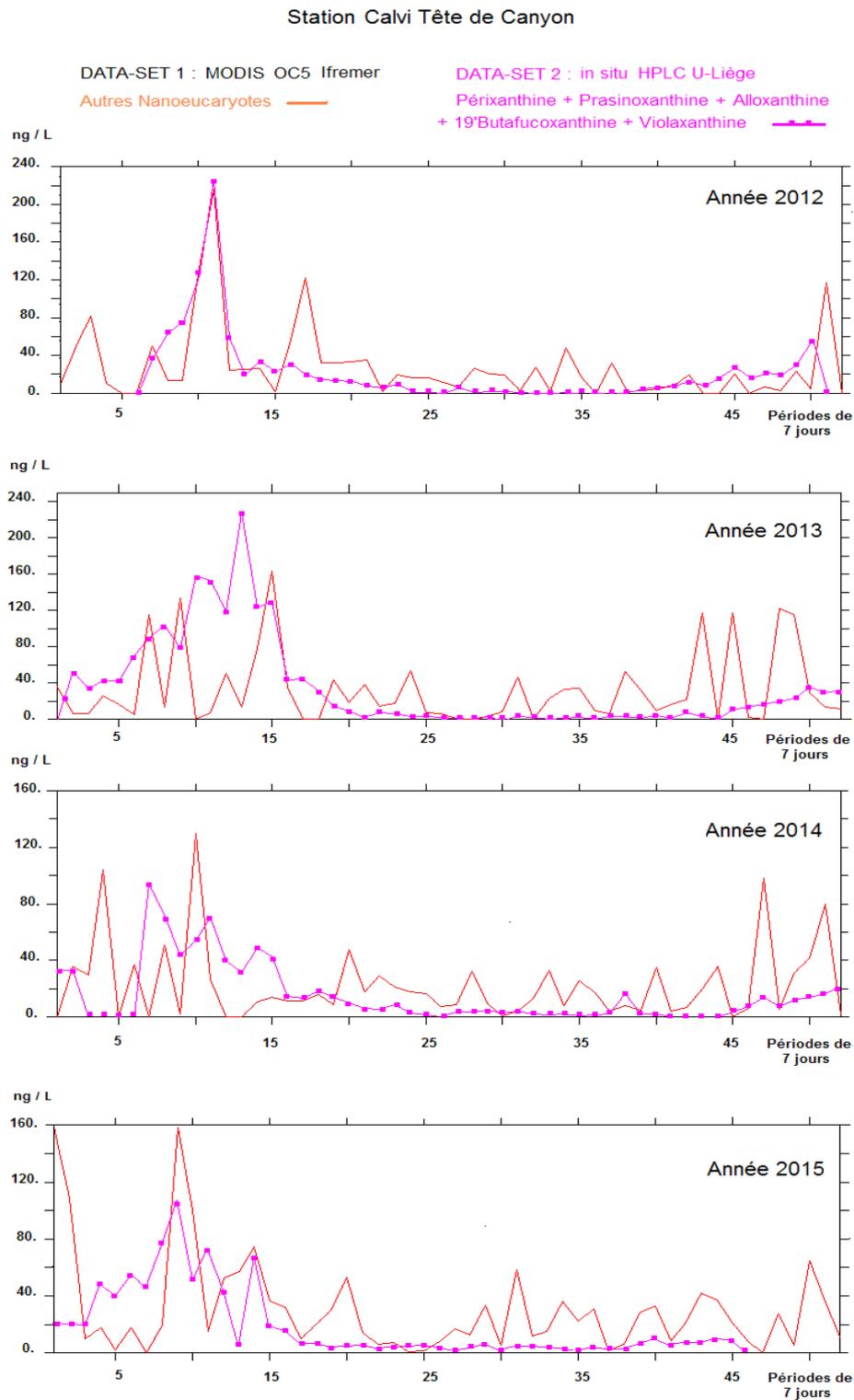


Figure 15. Superposition des concentrations de pigments restants obtenues par HPLC sur données *in situ* (en rose) et des concentrations en autres nano-eucaryotes obtenues par OC5-PHYSAT (en noir).

Pour toutes les autres espèces confondues, regroupées sous le titre générique de « Autres nano-eucaryotes », des différences importantes peuvent être constatées certaines semaines. Ce résultat peut s'expliquer par la faiblesse du signal de réflectance caractéristique de ce groupe et des incertitudes cumulées dans le traitement satellitaire sur les longueurs d'onde supérieures à 531 nm. Malgré cela, la succession des pics principaux pour les blooms de printemps et d'automne est tout à fait correcte et les concentrations moyennes sont assez bien quantifiées par l'enveloppe du signal en dehors de quelques exceptions.

En 2012 le premier pic à 250 ng.L⁻¹ est parfaitement reproduit mais la donnée satellitaire fait ensuite apparaître un 2e pic habituel en 17^{ème} semaine (25/04) qui semble ne pas avoir été vu par les prélèvements *in situ*.

A l'inverse en 2013, alors que le premier pic est bien observé par le satellite en 7^{ème} semaine (15/02) à 120 ng.L⁻¹, le second est occulté en raison d'une période nuageuse déjà mise en évidence précédemment entre la 10^{ème} semaine (08/03) et la 13^{ème} semaine (29/03) sur le signal de chlorophylle-a totale (cf. paragraphe 6.1).

Pour les deux années suivantes 2014 et 2015, compte-tenu des variabilités spatiales et temporelles propres à la grille d'observation, l'enveloppe du signal satellite reste significative malgré quelques sur-estimations estivales .

En conclusion pour les nano-eucaryotes les pics principaux sont assez bien reproduits à des valeurs très proches de la mesure in situ, mais on observe une sur-estimation systématique des concentrations moyennes en été et surtout en automne entre la 25^{ème} semaine (21/06) et la 45^{ème} semaine (08/11), en raison probablement d'un rapport signal/bruit trop faible du satellite ACQUA-MODIS. Le capteur OLCI sur le satellite SENTINEL3 permettra peut-être d'améliorer la détection des faibles valeurs.

7 VALIDATION ANNUELLE DES RESULTATS OC5-PHYSAT SUR LES SITES SOMLIT BANYULS-SOLA (REGION OCCITANIE) ET MARSEILLE-FRIOUL (REGION SUD-PACA) SUR LA PERIODE AUTOMNE 2017-PRINTEMPS 2018

Le projet ED2CO CHIFRE, initié par le CNRS pour la valorisation des mesures SOMLIT dans l'observation des événements extrêmes en régions Occitanie et SUD-Paca, notamment lors des « pluies cévenoles », a permis de recueillir un certain nombre de prélèvements hebdomadaires sur lesquels des analyses HPLC ont été effectuées par l'UMR MARBEC sous la responsabilité de F.Vidussi-Mostajir (Laboratoire de géosciences marines, Université de Montpellier).

Sur les deux sites SOMLIT, la totalité des pigments « habituels » ont été mesurés, excepté le divinyl-chlorophylle-a. Dans les traitements OC5-PHYSAT on ne fera donc pas de distinction entre *Prochlorococcus* et *Synechococcus*, et seul le cumul des deux sous le terme « Cyanobactéries » sera pris en considération pour comparaison avec les concentrations de zéaxanthine. Tous les fichiers ont été repris et normalisés en ng.L⁻¹ (Cf. listing annexe 1).

Les traitements OC5-PHYSAT ont été appliqués en réutilisant la table de classification calibrée pour le site de Calvi "Tête de canyon". Les grilles d'observation 5km x 5km permettant de déduire la distribution statistique des groupes dominants sur 25 points à une résolution de 1km, ont été choisies pour prendre en considération des masses d'eau à peu près homogènes.

a) Pour le site « Banyuls-Sola », la bouée de mesure SOMLIT est située très près de la côte à 1/2 mille nautique de l'observatoire océanologique sur des fonds vaseux de 27m de profondeur. Cette station est « sous l'influence des apports fluviaux en provenance du Rhône et des fleuves côtiers tels que le Tech, la Têt ou la Baillaury » (<http://sooob.obs-banyuls.fr>).

La grille d'observation satellitaire est décentrée et s'étend jusqu'à 5km vers l'est sur des fonds homogènes de 50m à 100m de profondeur, par rapport au point de prélèvement situé en extrémité sud-ouest dont les coordonnées ont été arrondies à N42.49° - E3.15°.

Une série de 12 prélèvements consécutifs avait été effectués par l'UMR MARBEC durant l'automne et le début de l'hiver 2017, entre les semaines 40 à 51. Après une interruption de 15 jours, ils ont été poursuivis en 2018 durant 5 semaines consécutives : en semaines 2,3,4,5,6, puis en semaines 6,8,10 et 15.

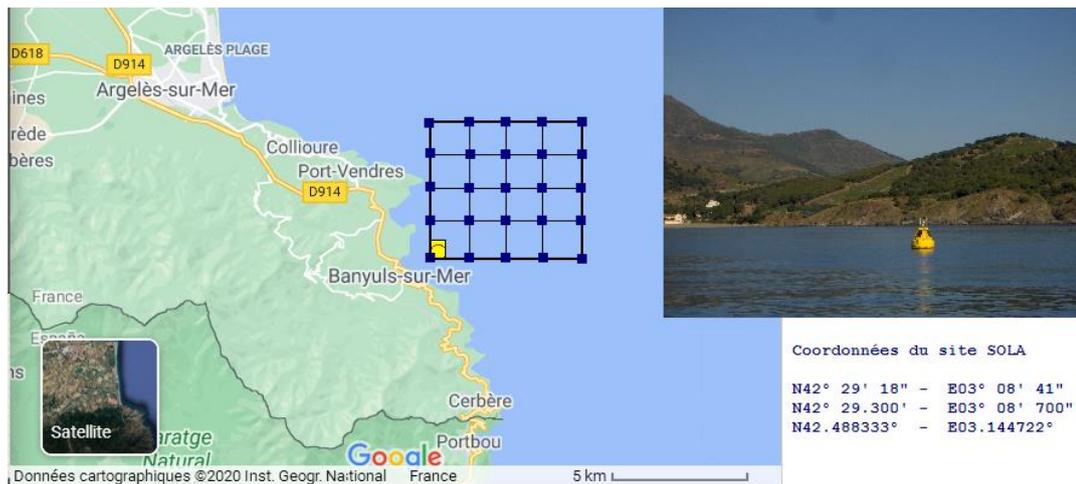


Figure 16. Localisation de la grille d'observation MODIS près de Banyuls en Région Occitanie
 - points jaune = point de prélèvement pour analyses HPLC sur site SOMLIT SOLA
 - points bleus = pixels de la grille d'observation MODIS à 1km de résolution.

b) Pour le site « Marseille-Frioul », la bouée est située entre les îles délimitant la Baie de Marseille sur des fonds de 60m environ. « Il s'agit d'une station strictement marine mais avec une influence continentale marquée » (<https://www.osupytheas.fr/?SOMLIT-1197>).

Le point de prélèvement est situé au centre sur la diagonale de la grille afin d'être suffisamment éloigné du littoral sans entrer dans les eaux plus au large qui sont sous influence directe des intrusions du courant liguro-provençal. Seuls 11 prélèvements hebdomadaires non consécutifs ont été réalisés en 2018 sur le site « SOLEMIO » pour les semaines 7, 14, 16, 19, 20, 22, 23, 25, 26, 27, 28.

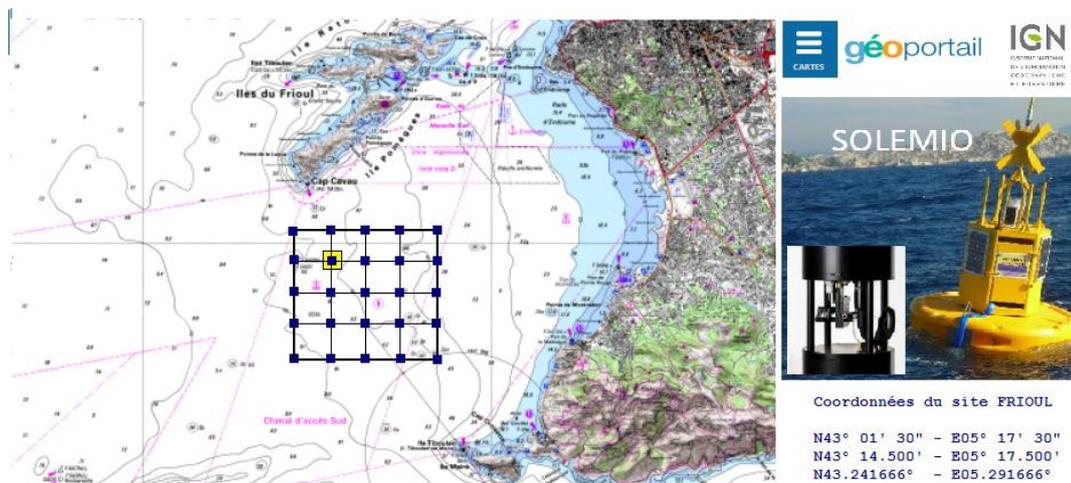


Figure 17. Localisation de la grille d'observation MODIS près de Marseille en Région SUD
 - point jaune = point de prélèvement pour analyses HPLC sur site SOMLIT FRIOUL
 - points bleus = pixels de la grille d'observation MODIS à 1km de résolution.

7.1 ANALYSE DES CONCENTRATIONS EN CHLOROPHYLLE-A TOTALES

Pour obtenir les courbes annuelles correspondant à chacun des 4 groupes La superposition des concentrations en chlorophylle-a totales calculées par analyse HPLC sur prélèvements *in situ* et des données issues du traitement OC5-MODIS est présentée en figure 19 page suivante.

Les amplitudes des concentrations mesurées par le satellite MODIS sont moyennées spatialement sur des grilles de 5km x 5km comprenant 25 points de mesures représentés sur les figures 16 et 17 précédentes. Elles couvrent respectivement la Baie de Banyuls et le sud de la Baie de Marseille à proximité de l'île du Frioul.

Les amplitudes maximales des blooms ont été volontairement écrêtées à 900 ng.L⁻¹ pour mieux visualiser les concentrations nominales comprises entre 200 et 900 ng.L⁻¹. Les écarts moyens d'amplitude relevés pour chaque site, par rapport aux points *in situ* sur chaque période de prélèvement sont approximativement les suivants :

- Banyuls-Sola automne 2017 : -20% ;
- Banyuls-Sola printemps 2018 : -20% ;
- Marseille-Frioul printemps 2018 : +10% ;

Sur le site SOMLIT Banyuls-Sola, les pics du bloom automnal 2017 et de la saison hivernale en 2018 jusqu'en 10e semaine sont bien reproduits aux mêmes semaines, avec une légère atténuation probablement due au décentrage de la grille qui est moins côtière donc moins productive dans ce secteur de fortes décharges pluvieuses.

Les pics et variations du site SOMLIT Marseille-Frioul paraissent quant à eux bien ajustés pour les 11 prélèvements successifs de l'année 2018, sauf en 20e semaine pour laquelle la valeur HPLC est moitié plus élevée à environ 800 ng.L⁻¹. Le double pic de bloom caractéristique en semaines 14 et 16 est bien représenté aux mêmes amplitudes par les deux mesures à environ 900 ng.L⁻¹ et 800 ng.L⁻¹. La décroissance quasi-exponentielle ensuite jusqu'en 30e semaine est bien respectée par la donnée satellitaire.

Globalement pour ces 2 sites situés en eaux oligotrophes, l'algorithme OC5 donne de bons résultats, conformément aux graphes de validation déjà fournis au chapitre 4 et aux conclusions de plusieurs publications (Tilstone et al. 2017, Gohin et al. 2020).

DATA-SET 1 : MODIS OC5 Ifremer
 Chlorophylle-a totale —

DATA-SET 2 : in situ HPLC SOMLIT
 Pigment chlorophylle-a —

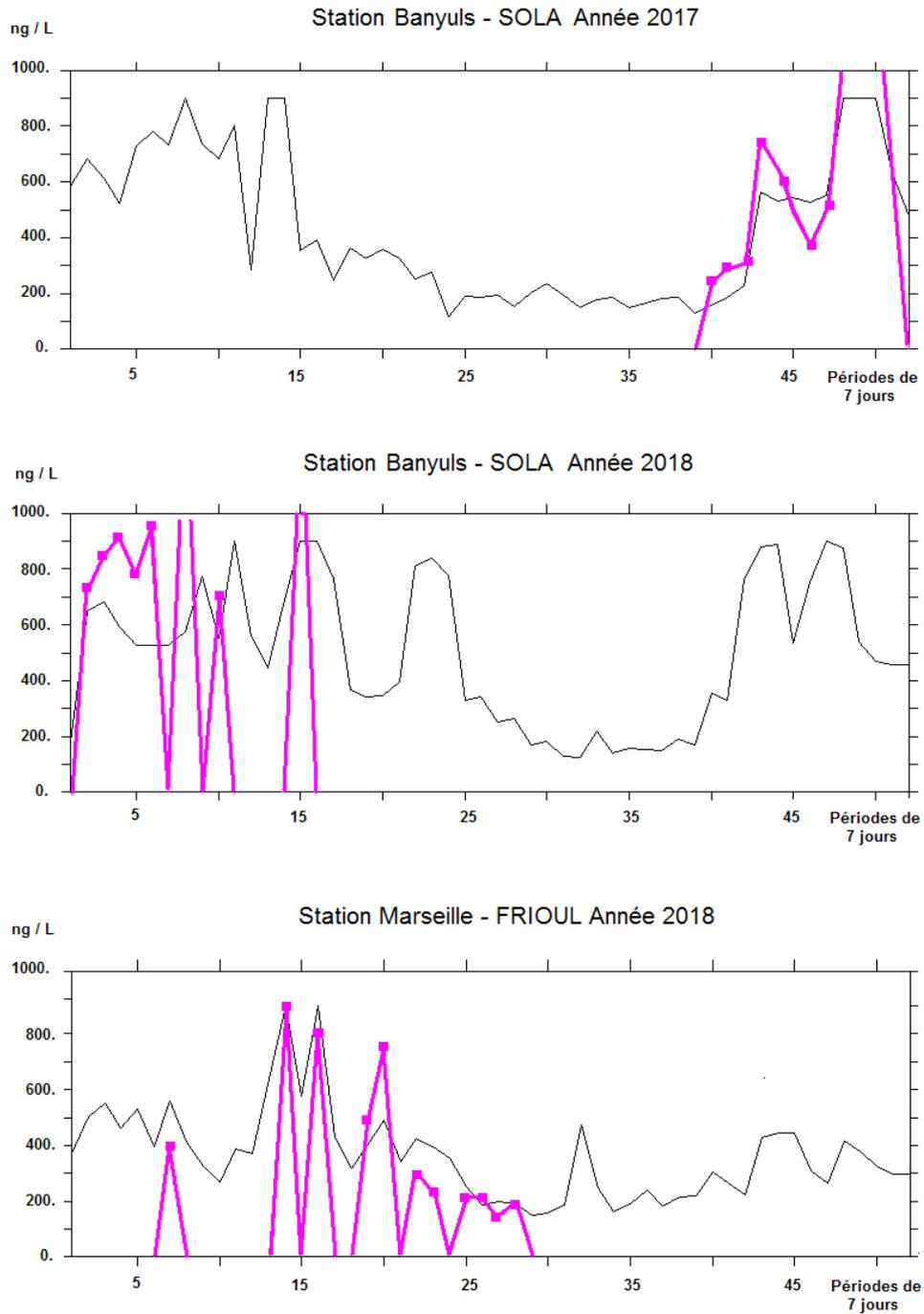


Figure 18. Superposition des mesures de chlorophylle-a totale hebdomadaires obtenues par HPLC (en rose) et de la donnée satellite traitée par OC5 moyennée sur 7 jours (en noir).

7.2 CALCUL DES CONCENTRATIONS EN PIGMENTS SECONDAIRES

7.2.1 Concentrations en cyanobactéries totales

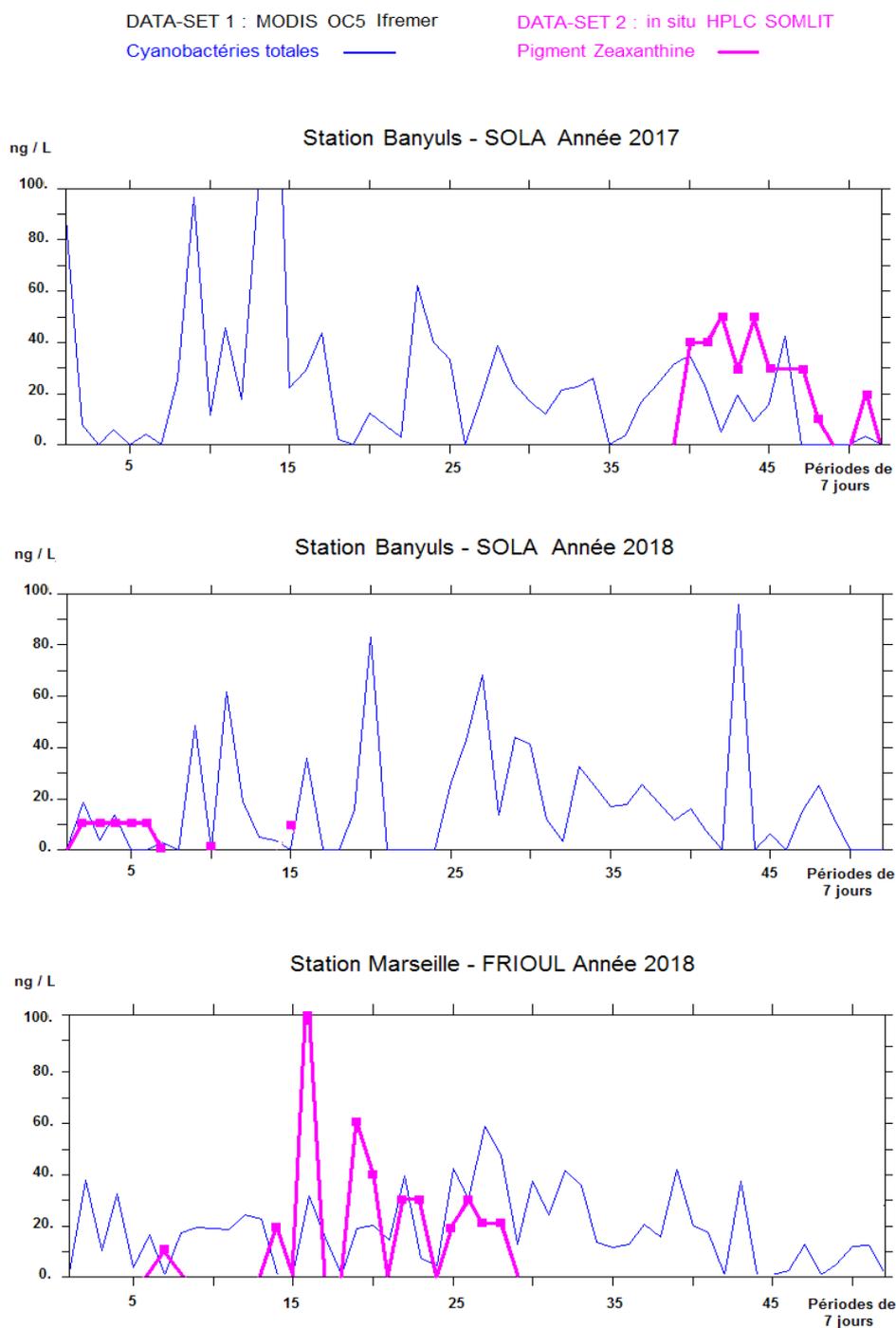


Figure 19. Superposition des concentrations hebdomadaires de zéaxanthine obtenues par HPLC sur données *in situ* (en rose) et des concentrations en cyanobactéries obtenues par OC5-PHYSAT (en noir) pour les sites de Banyuls-Sola (2017,2018) et Marseille-Frioul (2018)

Les résultats obtenus pour les cyanobactéries avec l'algorithme OC5-PHYSAT paraissent bien représentatifs des concentrations relevées sur les deux sites SOMLIT, dans des concentrations moyennes habituelles qui restent faibles de l'ordre de 20 ng.L⁻¹ à 40 ng.L⁻¹.

Sur le site de Banyuls-Sola, pour l'année 2017, les mesures *in situ* débutent seulement en 40^{ème} semaine (03/10). Les niveaux moyens sont assez bien reproduits par le traitement satellitaire avec 2 pics à environ 50 ng.L⁻¹ sauf entre la 42^{ème} semaine (18/10) et la 44^{ème} semaine (01/11) durant lesquelles la couverture nuageuse est trop importante. La décroissance qui intervient peu après, puis le rebond fin décembre sont bien détectés, même si le niveau estimé par satellite reste faible : il s'agit d'une période d'hiver peu lumineuse donc peu favorable à la détection des petites variations. Les quelques mesures *in situ* effectuées ensuite en 2018 montrent une continuité de faibles concentrations à environ 10 ng.L⁻¹ bien reproduites par les estimations OC5-PHYSAT. La dernière mesure isolée en 15^{ème} semaine (12/04) correspond bien à la montée du pic calculé par l'algorithme.

Sur le site de Marseille-Frioul, seul le premier semestre de l'année 2018 a été échantillonné *in situ*. Les niveaux mesurés en 7^{ème} semaine (15/02) et 14^{ème} semaine (05/04) respectivement à 10 ng.L⁻¹ et 20 ng.L⁻¹, sont en correspondance avec les estimations fournies par OC5-PHYSAT dans les semaines qui précèdent. Entre la 20^{ème} semaine (17/05) et la 30^{ème} semaine (25/07), les niveaux sont également bien respectés aux alentours de 30 ng.L⁻¹. En revanche, les 2 pics mesurés à 100 ng.L⁻¹ et 80 ng.L⁻¹, respectivement en 16^{ème} semaine (19/04) et 18^{ème} semaine (03/05), sont nettement amoindris dans l'estimation satellite bien que la chlorophylle-a totale semble correctement estimée par OC5. L'observation plus avant d'une surestimation des concentrations en « autres nano-eucaryotes » nous montre qu'il y a peut-être confusion au niveau de la classification entre ces 2 groupes dont la signature spectrale est très proche, sous l'effet d'une atténuation de l'amplitude du signal satellite. L'utilisation des données SENTINEL3 dans ce secteur serait donc préférable car susceptible d'améliorer sensiblement la qualité des signatures spectrales.

En conclusion pour les cyanobactéries, comme pour le site de Calvi, une meilleure estimation des concentrations totales pourrait être obtenue en traçant simplement l'enveloppe du signal durant la phase de bloom jusqu'en 20^e semaine, puis en opérant un lissage des points ensuite pour le reste de l'année lorsque le signal devient plus faible en limite de détection du satellite. Par ailleurs l'utilisation des données Sentinel3 devrait permettre une meilleure estimation de ces concentrations en moyenne assez faibles.

7.2.2 Concentrations en diatomées

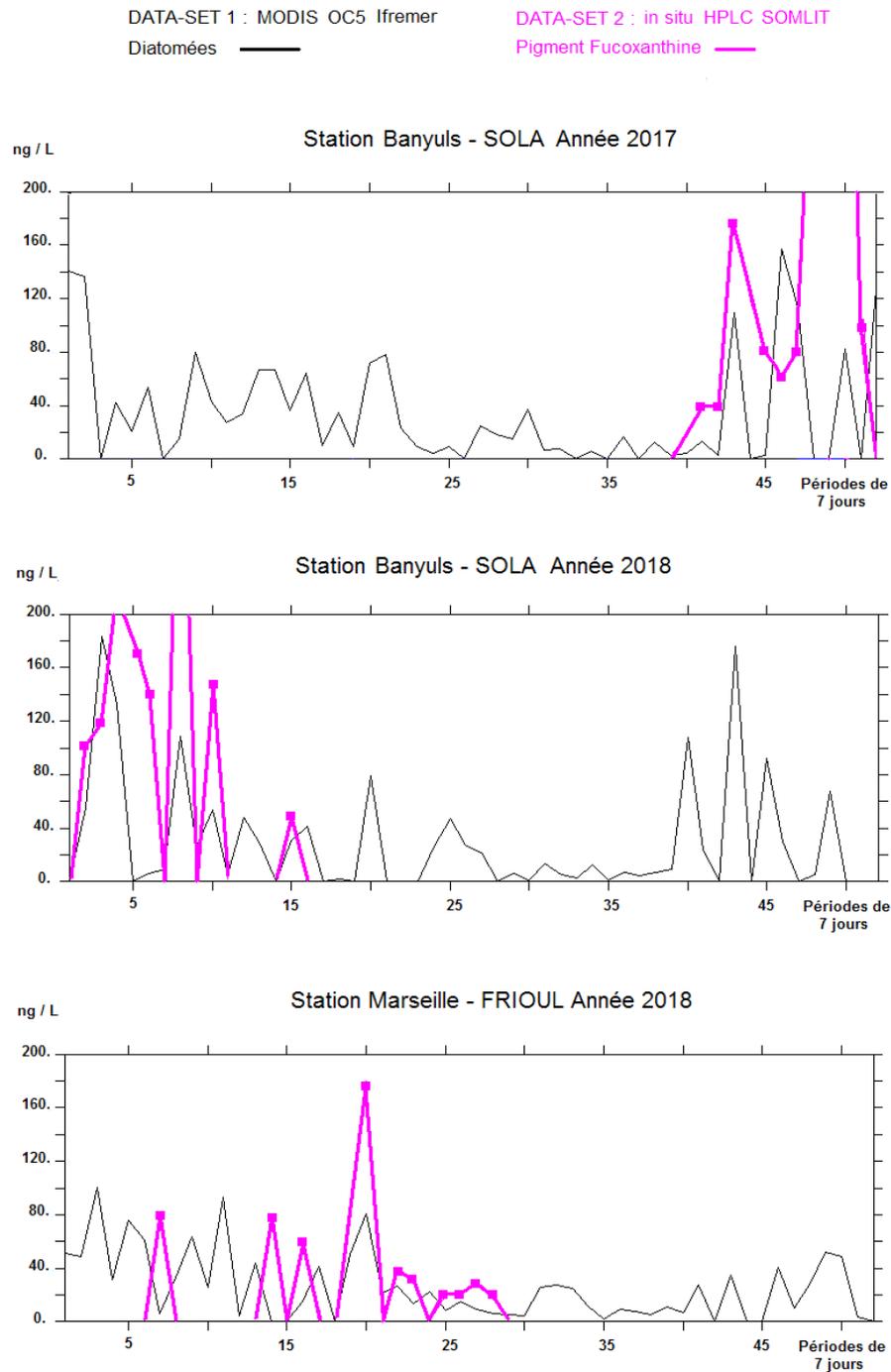


Figure 20. Superposition des concentrations de fucoxanthine obtenues par HPLC sur données *in situ* (en rose) et des concentrations en diatomées obtenues par OC5-PHYSAT (en noir) pour les sites de Banyuls-Sola (2017,2018) et Marseille-Frioul (2018).

Concernant les diatomées, les deux années 2017 et 2018 sont assez bien reproduites par la donnée satellitaire avec une enveloppe de courbe représentative des moyennes hebdomadaires. Comme pour le site de Calvi la dynamique du signal en 2018 est moins forte probablement en raison du « moyennage spatial » sur la grille 5km x 5km décentrée par rapport au point de mesure *in situ*.

Le bloom caractéristique de diatomées apparaissant en début d'année sur le site de Banyuls est directement lié à l'apport de silice durant la saison hivernale et les trois pics successifs liés aux précipitations pluvieuses apparaissent bien, même si les concentrations finales sont sous-estimées par l'algorithme.

Pour le site SOMLIT/Frioul les concentrations relevées sont plus faibles et la correspondance des pics entre les deux mesures est moins claire. Néanmoins, la concentration moyenne en début d'année jusqu'en 16^{ème} semaine paraît correctement estimée avec une enveloppe du signal à environ 80 ng.L⁻¹, et une légère décroissance continue. De même, pour la fin de l'échantillonnage entre la 21^{ème} semaine (23/05) et la 30^{ème} semaine (25/07) les très faibles concentrations autour de 20 ng.L⁻¹ sont correctement reproduites. En revanche, le pic principal exceptionnel en 20^{ème} semaine à environ 200 ng.L⁻¹ n'est pas détecté par l'algorithme PHYSAT : ceci est probablement dû à une sous-estimation de la chlorophylle-a totale par OC5 à cette période.

7.2.3 Concentrations en prymnésiofycées

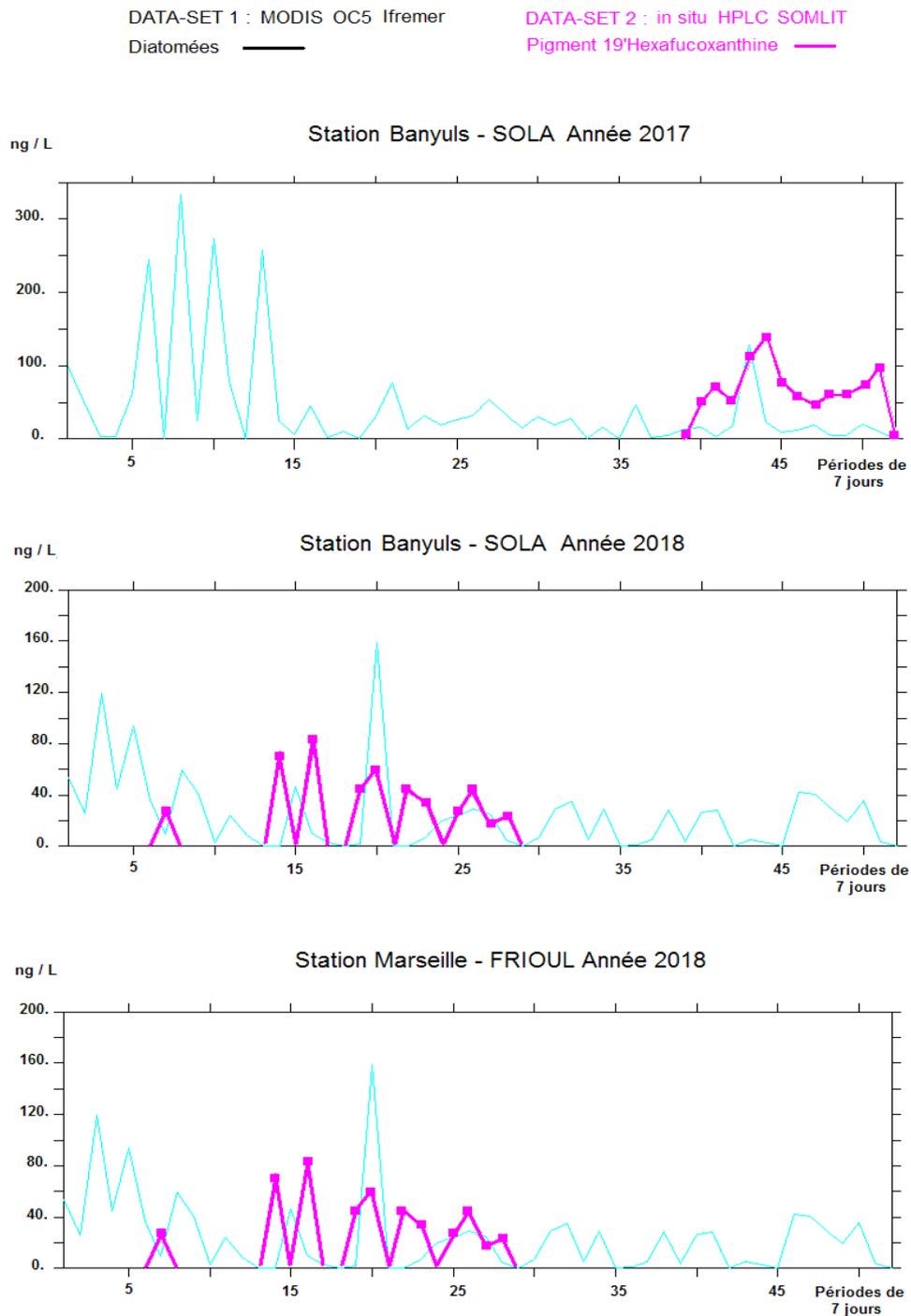


Figure 21. Superposition des concentrations hebdomadaires de 19'hexafucoxanthine obtenues par HPLC sur données *in situ* (en rose) et des concentrations en diatomées obtenues par OC5-PHYSAT (en noir) pour les sites de Banyuls-Sola (2017,2018) et Marseille-Frioul (2018).

Concernant les prymnésiophycées qui arrivent consécutivement aux diatomées dans la succession phytoplanctonique, les variations de concentrations semblent globalement bien représentées par la mesure satellite.

Pour le site de Banyuls-Sola le pic dans les données *in situ* à l'automne 2017 à environ 150 ng.L⁻¹ en 44^{ème} semaine (01/11) est correctement reproduit par l'algorithme OC5-PHYSAT. En revanche, pour l'année 2018, la couverture nuageuse était persistante de la 4^{ème} semaine (25/01) à la 7^{ème} semaine (15/02), et l'estimation est moins bonne. Le pic détecté en 2^{ème} semaine (11/01) à environ 150 ng.L⁻¹ reste néanmoins représentatif de la valeur moyenne mesurée autour de 100 ng.L⁻¹, de même que la valeur observée en 10^{ème} semaine (08/03) à 50 ng.L⁻¹. Enfin, la mesure isolée en 15^{ème} semaine (12/04, fin de bloom) montre un pic nettement supérieur dans la donnée satellitaire mais toutefois en correspondance avec une augmentation de la chlorophylle-a totale et des cyanobactéries détectées au même moment dans la donnée *in situ*.

Pour le site SOMLIT de Marseille-Frioul, le signal décroissant de janvier à juin pour des valeurs comprises entre 80 ng.L-1 et 50 ng.L-1 apparaît bien dans l'enveloppe des résultats OC5-PHYSAT tout comme dans la mesure *in situ* activée seulement en 14^{ème} semaine (05/04). Une surestimation de la concentration en 20^{ème} semaine (17/05) est observée à des niveaux supérieurs à 150 ng.L-1. Il pourrait s'agir d'une erreur de classification avec le groupe des diatomées qui lui est sous-estimé dans la même proportion cette semaine-là, probablement en raison d'un signal satellite perturbé. Là aussi, le traitement de signaux issus de OLCI-SENTINEL3 pourrait apporter des améliorations dans les années futures.

7.2.4 Concentrations en autres bactéries (majoritairement nano-eucaryotes)

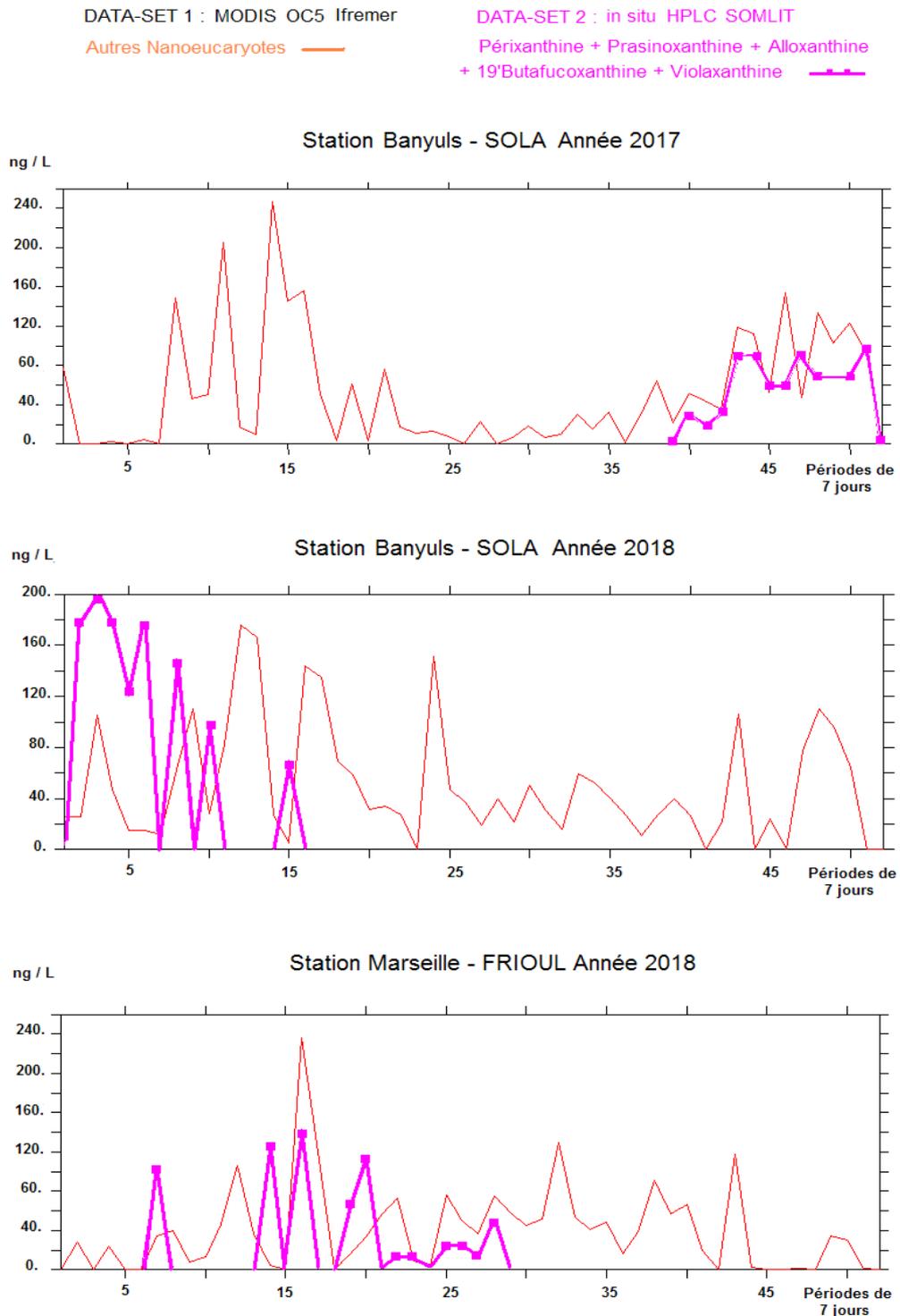


Figure 22. Superposition des concentrations hebdomadaires des autres pigments secondaires obtenues par HPLC sur données *in situ* (en rose) et des concentrations en autres nano-eucaryotes obtenues par OC5-PHYSAT (en noir) pour les sites de Banyuls-Sola (2017,2018) et Marseille-Frioul (2018).

Pour toutes les autres espèces confondues et regroupées sous le titre de « Autres nano-eucaryotes », il est possible de constater des différences importantes entre les différentes semaines compte-tenu de la faiblesse du signal de réflectance et des incertitudes cumulées dans le traitement satellitaire. La même remarque avait déjà été faite pour le site de Calvi.

Malgré cela, sur le site de Banyuls l'enveloppe générale du signal obtenu pour les autres nano-eucaryotes à l'automne 2017 reproduit bien les variations et les niveaux mesurés *in situ* aux alentours de 100 ng.L⁻¹. En revanche, les concentrations à 190 ng.L⁻¹ en début d'année 2018 sont mal représentées en raison des épisodes nuageux déjà signalés. Des niveaux mesurés à environ 180 ng.L⁻¹ apparaissent plus tardivement dans la mesure satellite en 12^{ème} semaine (22/03) et 16^{ème} semaine (19/04) mais l'absence de mesures HPLC à cette période ne permet pas de vérifier la fiabilité de cette estimation.

Sur le site SOMLIT de Marseille-Frioul, l'enveloppe globale fournie par l'analyse OC5-PHYSAT du signal satellite MODIS à la même période est en revanche bien représentative des variations observées par la mesure *in situ* entre la 10^{ème} semaine (08/03) et la 30^{ème} semaine (25/07) avec un pic plus conséquent à environ 200 ng.L⁻¹ en 16^{ème} semaine (19/04), qui semble réaliste dans ce secteur durant le bloom de printemps lorsque la valeur moyenne est calculée sur une grille d'environ 25 km².

8 SYNTHESE POUR L'ACTION OPERATIONNELLE

L'algorithme PHYSAT permet de discriminer certains grands groupes phytoplanctoniques par analyse spectrale des signaux lumineux réfractés à la surface de l'océan et reçus par un capteur satellite dit « couleur de l'eau ». Cet algorithme permet de spatialiser, lorsque l'absence de nuages le permet, l'information de composition phytoplanctonique sur des portions d'océan, à partir des images satellitaires quotidiennes. Pour une utilisation locale, il convient de privilégier une étendue d'eau dont les caractéristiques hydrologiques soient le plus homogène possible, afin d'augmenter la précision de la discrimination en terme d'espèces phytoplanctoniques.

Une première convention IFREMER-AERMC avait permis d'initier le travail en deux étapes : étudier dans un premier temps la faisabilité d'une application de l'algorithme PHYSAT à l'échelle locale sur 3 sites de référence Villefranche, Calvi et Sète (Coudray et al., 2016) RST.ODE/UL/LER-PAC 2016-25. Dans un deuxième temps une action IFREMER-AFB ONEMA a permis de consolider l'application prototype sur le site chantier de Calvi pour l'année de référence 2015 afin de confirmer la qualité des résultats obtenus (Coudray, 2019). Ils ont été présentés lors du 50^{ème} Colloque « Ocean Dynamics » en mai 2018 à Liège (Goffart, 2018).

Le travail engagé ensuite dans l'action AQUAREF-LITTOSAT phase I, visait à démontrer la répliquabilité sur plusieurs années des traitements OC5-PHYSAT en eaux claires oligotrophes, en se basant sur la table de classification déjà calibrée sur le site de référence de Calvi. La validation des traitements a été étendue spatialement sur deux nouveaux sites similaires en régions Occitanie et SUD-PACA grâce aux bases de données SOMLIT-HPLC déjà acquises par l'université de Montpellier pour l'action LEFE-EC2CO CHIFRE en 2017-2018.

Ce travail de validation pluriannuelle en eaux claires a permis de confirmer les premiers résultats obtenus et de mieux cerner les limites de l'algorithme. Avant d'envisager une utilisation à plus large échelle d'un tel outil, il faudra néanmoins tenir compte des indications suivantes :

- La robustesse de l'algorithme OC5-PHYSAT a pu être testée sur 4 années consécutives pour le site de Calvi (2012-2015) à partir des images satellitaires MODIS à la résolution de 1km. Les résultats de classification apparaissent meilleurs certaines années que d'autres respectivement à deux facteurs principaux : l'intensité et la stabilité du bloom printanier, et surtout l'importance et la stabilité du taux d'ensoleillement qui vont conditionner la disponibilité des informations satellite et la qualité des mesures de réflectance acquises.
- Les tables de classification OC5-PHYSAT permettant la reconnaissance spectrale des grands groupes phytoplanctoniques et mises au point pour le site de Calvi sur l'année de référence 2015, ont pu être réutilisées sans modification pour les deux autres sites sélectionnés en régions SUD-Paca et Occitanie sur les deux

années 2017 et 2018. Les résultats ont été validés par comparaison avec les données *in situ* déjà acquises sur les points de mesure SOMLIT correspondants. La relativement bonne adéquation des deux séries de données confirme que la table ainsi ajustée reste valable pour tous les sites dits en « eaux claires » dans la zone DCSMM française méditerranéenne.

- La taille de grille 5km x 5km permettant de distribuer les groupes sur un échantillon de 25 points satellites MODIS (1 groupe dominant = 1 spectre couleur de l'eau par pixel réfracté) est conservée comme taille d'observation standard. Lorsque les données SENTINEL3 pourront être utilisées, il conviendra de descendre la taille de la grille à 2.7 x 2.7 km pour 100 points satellite afin de rester dans une masse d'eau relativement homogène, tout en améliorant la qualité de la distribution statistique.
- Le nombre de groupes discriminables est toujours limité à 4: Cyanobactéries (*Prochlorococcus*+*Synechococcus*), Diatomées, Prymnésiophycées et enfin Autres-Nanoeucaryotes qui regroupe sans distinction tous les sous-groupes secondaires dont les Dinoflagellés, les Cryptophycées, les Pélagophycées et les Chlorophycées. Il est néanmoins possible de faire la distinction entre les deux sous-groupes de procaryotes *Prochlorococcus* et *Synechococcus*, de la même façon que pour l'océan global. Ces deux types de cyanobactéries possèdent en effet des signatures spectrales bien distinctes et l'analyse HPLC du pigment divinyl-chlorophylle-a dans les prélèvements réalisés *in situ* permet d'identifier clairement les *Prochlorococcus*.
- La même table de classification dite « eaux claires » pourra être conservée pour les zones d'application suivantes et sur des sites à des profondeurs supérieures à 20 mètres et situés à 1 kilomètre minimum de la côte :
 - Calvi Tête de canyon, en CORSE-occidentale avec le site de référence
 - SOMLIT-Banyuls, en OCCITANIE-sud avec le site de référence
 - SOMLIT-Frioul, en SUD-PACA ouest avec le site de référence
 - SOMLIT-Villefranche, en SUD-PACA est avec le site de référence
 - française (sous-région marine Méditerranée occidentale), pour les eaux du large dans la zone DCSMM
- Pour 2 autres zones il sera nécessaire de compléter/modifier la table en fonction des mesures *in-situ* à venir et de la disponibilité des données OLCI-Sentinel3: en CORSE-orientale avec le site de référence Bastia-Biguglia qui est peu profond et « très côtier »; et en OCCITANIE-nord avec le site de référence SOMLIT-SèteMer en eaux « semi-turbides ».
- L'utilisation de l'algorithme à plus large échelle sur l'ensemble de l'espace DCSMM nécessitera un travail préalable de calibration empirique spécifique à chaque zone homogène qu'il est possible de distinguer sur la base des travaux déjà réalisés autour des paysages hydrologiques (Huret, Gailhard-Rocher, et al. 2012).

9 CONCLUSION

La calibration de l'algorithme OC5-PHYSAT avait été réalisée précédemment sur un an de données 2015 pour le site de référence Calvi « Tête de Canyon » situé en eaux-claires oligotrophes. Ce premier site avait été sélectionné en partenariat avec l'Université de Liège en raison de l'existence de séries pigmentaires HPLC longues, étalées sur 4 années consécutives qui ont pu être valorisées pour la validation pluriannuelle de l'algorithme. Ce travail de validation mené pour l'action SQUAREF-LITTOSAT a concerné la période 2012-2015 pour le premier site de référence. Il a ensuite été étendu à deux autres sites également situés en eaux claires à Banyuls et Marseille, qui bénéficiaient tous les deux de la présence d'un point instrumenté SOMLIT sur lesquels des prélèvements et des analyses pigmentaires par HPLC avaient été précédemment réalisés en 2017-2018 par l'UMR MARBEC. L'ensemble de ces données pigmentaires correspondant aux concentrations des différents groupes de micro-algues associées, a été comparé aux résultats de classification de l'algorithme OC5-PHYSAT permettant de distinguer les concentrations respectives de quatre grands groupes : Cyanobactéries, Diatomées, Prymnésiophycées et « Autres nano-eucaryotes ». Le taux de réussite de la classification du groupe dominant pour chaque pixel de l'image MODIS à 1km de résolution est estimé à environ 85%, avec environ 10% de signaux techniquement inexploitable (rejetés) et 5% d'erreurs de classification.

Les comparaisons obtenues permettent de confirmer la robustesse de l'algorithme sur différents jeux de données aussi bien dans le temps que sur des lieux éloignés géographiquement mais tous situés dans un environnement hydrologique similaire. L'algorithme IFREMER OC5-PHYSAT peut donc être raisonnablement utilisé localement sur la plupart des sites côtiers situés dans des eaux claires et oligotrophes, pour les trois régions françaises de la sous-région marine Méditerranée occidentale de la DCSMM, avec une incertitude essentiellement liée à la luminosité qui conditionne la qualité des signaux reçus par le satellite. Néanmoins, avant d'envisager l'utilisation de l'algorithme en d'autres points sur l'emprise DCSMM, il sera nécessaire de vérifier la bonne adéquation des coefficients de classification PHYSAT à chaque nouveau paysage hydrologique concerné. La validation des résultats pourra alors être réalisée grâce à des séries HPLC partielles d'opportunité issues de campagnes de mesures au large dans chaque masse d'eau possédant des propriétés homogènes.

Une seconde phase va être engagée pour tester l'algorithme OC5-PHYSAT sur des zones semi-turbides en aval de l'action TELECHLOR destinée à pérenniser l'algorithme couleur de l'eau OC5 pour les besoins de l'OFB avec les données du nouveau satellite SENTINEL3. Le travail sera conduit de manière expérimentale en Mer Méditerranée sur le point SOMLIT Sète-Mer, puis étendu en Atlantique sur le point de mesure Auger-Oléron. L'utilisation en 2021 de données SENTINEL-OLCI à 300 m de résolution issues des derniers traitements Copernicus-ESA devraient permettre d'améliorer le processus de classification tout en offrant une meilleure couverture des zones très côtières.

10 GLOSSAIRE

Couleur de l'eau	désigne un ensemble de capteurs et d'algorithmes permettant de reconstituer le spectre de réflectance dans le domaine de la lumière visible. Il s'agit d'un spectre discret et non continu comportant un nombre restreint de bandes (de 5 à 8 longueurs d'onde en général).
Groupe dominant	il s'agit du groupe phytoplanctonique dont la signature spectrale est reconnaissable au point d'observation satellitaire. Il ne peut y avoir qu'un seul groupe observé à un temps t (12h00 pour le satellite héliosynchrone)
Imagerie hyperspectrale	l'imagerie hyperspectrale est une technique combinant l'imagerie et la spectroscopie où chaque image est prise pour une bande étroite du spectre électromagnétique.
Oligotrophe	un milieu oligotrophe du grec oligo, « peu », et trophein, « nourrir », est un milieu particulièrement pauvre en éléments nutritifs. C'est le contraire d'un milieu eutrophe.
Orbite héliosynchrone	désigne une orbite satellitaire dont on choisit l'altitude et l'inclinaison de sorte que l'angle entre le plan d'orbite et la direction du Soleil demeure quasiment constant. Un satellite placé sur une telle orbite passe au-dessus d'un point de la surface terrestre donné à la même heure solaire locale (en général à midi pour avoir le maximum de réflectance solaire).
Percentile	correspond à chacune des 99 valeurs qui divisent les données triées en 100 parts égales, de sorte que chaque partie représente 1/100 de l'échantillon. Par exemple, le percentile 90 sépare les 90% inférieurs des données.
Réflectance	c'est la proportion de lumière réfléchi par la surface de la mer (flux lumineux réfléchi / flux lumineux incident).

11 SIGLES ET ABREVIATIONS

AERMC	Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse
AFB	Agence Française pour la Biodiversité devenue OFB en 2020
DCE	Directive Cadre sur l'Eau
DCSMM	Directive-cadre stratégie pour le milieu marin
DV-Chla	Divinyl chlorophylle-a
HPLC	Chromatographie Liquide Haute-Performance (haute-pression)
MATLAB	Langage de programmation de 4e génération © Mathworks
MES	Matières En Suspension (Suspended Particulate Matter, SPM)
MODIS	Capteur couleur de l'eau du satellite américain AQUA de la NASA
OC3 / OC4	Ocean Colour algorithm 3 or 4 bands © Nasa / Esa
OC5	Ocean Colour algorithm 5 bands © Ifremer
OLCI	Capteur couleur de l'eau du satellite européen SENTINEL3 de l'ESA
ONEMA	Office National de l'eau, aujourd'hui partie de l'OFB
P90	Percentile 90
PFT	Plancton Functional Types (grands groupes phytoplanctoniques)
PHYSAT	Méthode de discrimination des PFT par analyse spectrale de la couleur de l'eau
REPHY	Réseau d'Observation et de Surveillance du Phytoplancton et des Phycotoxines
SeaWiFS	Sea-viewing WideFieldSensor, capteur du satellite OrbView-2
SOMLIT	Service universitaire d'observation en milieu littoral
SSI	Surface Solar Irradiance (mesure satellitaire d'ensoleillement)
SST	Sea Surface Temperature (mesure satellitaire de la température)
TCHLA	Chlorophylle-a totale

12 BIBLIOGRAPHIE

Alvain, S., 2007. Étude de la distribution des principaux groupes de phytoplancton par télédétection satellitaire : **Développement de la méthode PHYSAT** à partir des données GeP&CO et application à l'archive SEAWIFS entre 1998 et 2004. Climatologie. Thèse de l'Université Paris-Diderot - Paris VII, 2005, <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00157372>

Alvain, S., Moulin, C., Dandonneau, Y., Loisel, H., 2008. **Seasonal distribution and succession of dominant phytoplankton groups in the global ocean: A satellite view.** Global Biogeochemical Cycles 22 (3), GB3001, <https://doi.org/10.1029/2007GB003154>

Coudray, S., Bryère, P., Goffart, A., Gohin, F., 2016, **Surveillance hydrologique des eaux côtières et du large par imagerie satellitaire (DCSMM)**, rapport final convention IFREMER-AERMC 2015-2016, RST.ODE/UL/LER-PAC 2016-25 et présentation aux journées Nationales Gliders DT-INSU 2019, https://jng2019.sciencesconf.org/data/program/coudray_MEDSAT.pdf

Coudray, S., 2019, **Application croisée de méthodes analytiques et innovantes pour déterminer la composition phytoplanctonique à large échelle, Signature pigmentaire du phytoplancton et imagerie satellitaire couleur de l'eau**, rapport final convention IFREMER-AFB ONEMA 2018-2019, RST.ODE/UL/LER-PAC 2019.

Demarcq, H., Reygondeau, G., Alvain, S., Vantrepotte, V., 2012. **Monitoring marine phytoplankton seasonality from space.** Remote Sensing of Environment 117, 211-222, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.09.019>

Ganzin, N., Mangin, A., 2008, **Optimisation de la surveillance des masses d'eau DCE en méditerranée. Utilisation des produits dérivés d'images satellites en complément du réseau de mesure in-situ**, Rapport scientifique, <https://archimer.ifremer.fr/doc/00398/50906/>

Gaillard-Rocher, L., Huret, M., Lazure, P., Vendermeisrsh, F., Gatti, J., Garreau, P., Gohin F., 2012, **Identification de « paysages hydrologiques » dans les eaux marines sous juridiction française (France métropolitaine)**, rapport de recherche pour l'évaluation Initiale de la DCSMM IFREMER, <https://archimer.ifremer.fr/doc/00069/18018/15547.pdf>

Goffart, A., Andral, B., 2014, **Validation de l'indice composition IC Medit dans des masses d'eau côtières méditerranéennes caractérisées par un gradient croissant**, rapport de l'Université de Liège pour IFREMER & AFB-ONEMA., <https://orbi.uliege.be/handle/2268/187546>

Goffart, A., Hecq, J.H., Legendre, L., 2015, **Drivers of the winter-spring phytoplankton bloom in a pristine NW Mediterranean site, the Bay of Calvi (Corsica): A long-term study (1979-2011)**, Progress in Oceanography, <http://dx.doi.org/10.1016/j.pocean.2015.05.027>

Goffart, A., 2018, **Interaction between climate forcing and plankton communities in a pristine NW Mediterranean site, the Bay of Calvi (Corsica): a long term study 1979-2016**. Long-term studies in oceanography - a celebration of 50 years of science, Session 2 Coastal & regional processes, Ocean Dynamics Conference in Liège (BE). [https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/226320/1/Goffart et al Liège mai 18 Orbi.pdf](https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/226320/1/Goffart%20et%20al%20Li%C3%A9ge%20mai%2018%20Orbi.pdf)

Goffart, A., 2019, **Application croisée de méthodes analytiques et innovantes pour déterminer la composition phytoplanctonique à large échelle**, rapport de l'Université de Liège pour IFREMER & AFB-ONEMA. [https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/233014/1/AGoffart Action 3 OC5-Physat 190403F.pdf](https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/233014/1/AGoffart%20Action%203%20OC5-Physat%20190403F.pdf)

Gohin, F., Druon, J.N., Lampert, L., 2002. **A five channel chlorophyll concentration algorithm applied to SeaWiFS data processed by Seadas in coastal waters**. International Journal of Remote Sensing, 23, 1639-1661, <https://doi.org/10.1080/01431160110071879>

Gohin, F., 2011. **Annual cycles of chlorophyll-a, non-algal suspended particulate matter, and turbidity observed from space and in-situ in coastal waters**. Ocean Science. 7,705-732, <https://doi.org/10.5194/os-7-705-2011>

Gohin, F., Saulquin, B., Oger-Jeanneret, H., Lozac'h, L., Lampert, L., Lefebvre, A., Riou, P., Bruchon, F., 2008. **Towards a better assessment of the ecological status of coastal waters using satellite-derived chlorophyll-a concentrations**. Remote Sens. Environ. 112, 3329-3340, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2008.02.014>

Gohin, F., Bryère, P., Perrot, L., 2014. **A new procedure for interpolating satellite-derived suspended particulate matters within the Previmer context**, Mercator Newsletter - q. Newsl. 49, 26-28, <https://archimer.ifremer.fr/doc/00197/30799/29168.pdf>

Gohin, F., Bryère, P., Lefebvre, A., Sauriau, P., Savoye, N., Vantrepotte, V., Bozec, Y., Cariou, T., Conan, P., Coudray, S., Courtay, G., Françoise, S., Goffart, A., Hernández Fariñas, T., Lemoine, M., Piraud, A., Raimbault, P., Rétho, M., 2020. **Satellite and In Situ Monitoring of Chl-a, Turbidity, and Total Suspended Matter in Coastal Waters: Experience of the Year 2017 along the French Coasts**. Journal of Marine Science and Engineering, 8(9), 665 (25p.), <https://doi.org/10.3390/jmse8090665>

Mayot, N., D'Ortenzio, F., Ribera d'Alcalà, M., Lavigne, H., Claustre, H., 2015. **Interannual variability of the Mediterranean trophic regimes from ocean color satellites**. Biogeosciences, 13, 190119017, <http://dx.doi.org/10.5194/bg-13-1901-2016>

Navarro, G., Alvain, S., Vantrepotte, V., Huertas, I.E., 2014. **Identification of dominant phytoplankton functional types in the Mediterranean Sea based on a regionalized remote sensing approach**. Remote Sensing of Environment 152, 557-575, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.06.029>

Navarro, G., Almaraz, P., Caballero, I., Vazquez, A., Huertas, I.E., 2017. **Reproduction of Spatio-Temporal Patterns of Major Mediterranean Phytoplankton Groups from Remote Sensing OC-CCI Data.** *Frontiers in Marine Science* 4, <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00246>

Tilstone, G., Mallor-Hoya, S., Gohin, F., Belo Couto, A., Sá, C., Goela, P., Cristina S., Airs, R., Icely, J., Zühlke, M., Groom, S., **Which ocean colour algorithm for MERIS in North West European waters?**, *Remote Sensing of Environment*, Volume 189, February 2017, Pages 132-151, ISSN 0034-4257, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2016.11.012>

13 TABLE DES ILLUSTRATIONS ET TABLEAUX

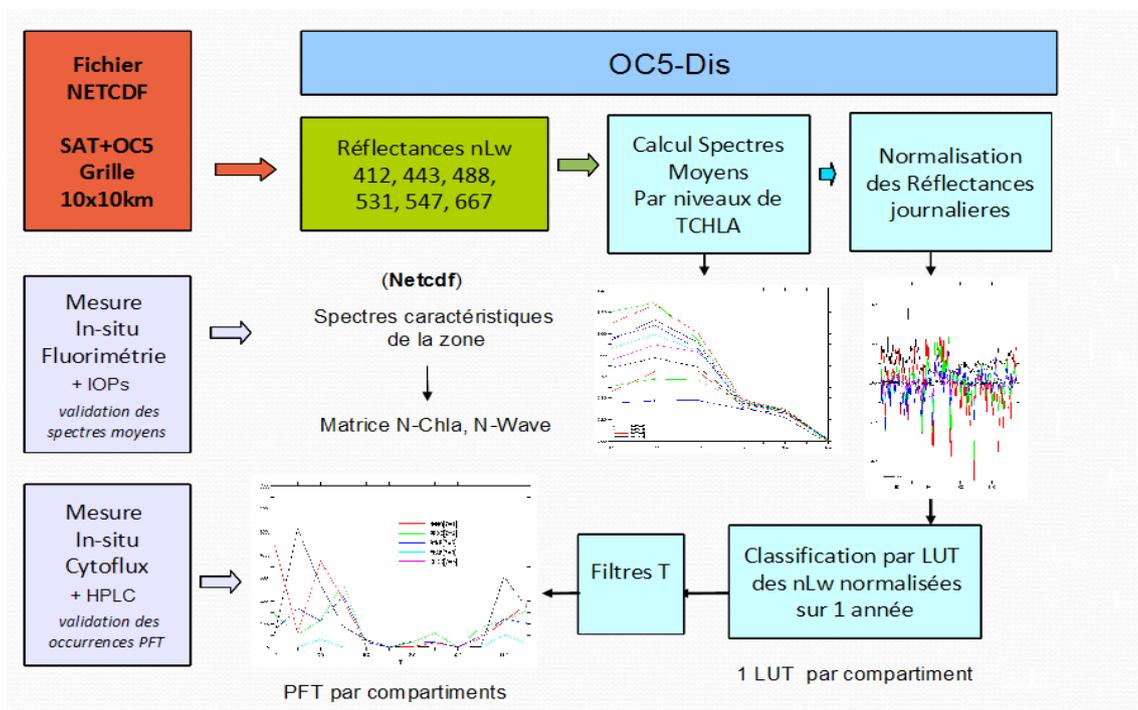
- Figure 1. Zones géographique (en vert) prises en compte par l'algorithme OC3MED-Physat avec indication des points de mesures in-situ des campagnes SODYF et BOUSSOLE.
- Figure 2. Climatologie mensuelle des pourcentages d'apparition des principaux groupes phytoplanctoniques en mer Ligure pour la période 2003-2012, calculée à l'aide de PHYSAT-MED.
- Figure 3. Synoptique général de l'algorithme OC5-PHYSAT.
- Figure 4. « Spectres d'anomalies » caractéristiques des luminances normalisées pour le site de CALVI sur une année de référence en 2015.
- Figure 5. Superposition des concentrations en chlorophylle-a totales obtenues par OC5 sur données MODIS (en bleu) et analyses HPLC sur prélèvements in situ (en rouge) au site SOMLIT Marseille-Frioul .
- Figure 6. Superposition des concentrations en chlorophylle-a totales obtenues par OC5 sur données MODIS (en bleu) et analyses HPLC sur prélèvements in situ (en rouge) au site SOMLIT Banyuls-Sola.
- Figure 7. Localisation de la grille d'observation MODIS près de Calvi en Corse en eaux claires oligotrophes.
- Figure 8. Superposition des mesures de chlorophylle-a totale hebdomadaires obtenues par HPLC (en rose) et de la donnée satellite traitée par OC5 moyennée sur 7 jours (en noir).
- Figure 9. Superposition de la SSI MODIS 2012 et 2013 avec les concentrations hebdomadaires de chlorophylle-a obtenues par HPLC sur données in situ (en rose) et celles obtenues par OC5 (en noir)
- Figure 10. Superposition des concentrations hebdomadaires de zéaxanthine obtenues par HPLC sur données in situ (en rose) et des concentrations en cyanobactéries obtenues par OC5-PHYSAT (en noir).
- Figure 11. Superposition des concentrations hebdomadaires de divinyl-chlorophylle-a obtenues par HPLC sur données in situ (en rose) et des concentrations en prochlorococcus obtenues par OC5-PHYSAT (en noir).
- Figure 12. Superposition des concentrations de (zeaxanthine - divinyl-chlorophylle-a) obtenues par HPLC sur données *in situ* (rose) et des concentrations en Synechococcus obtenues par OC5-PHYSAT (noir)
- Figure 13. Superposition des concentrations hebdomadaires de fucoxanthine obtenues par HPLC sur données *in situ* (en rose) et des concentrations en diatomées obtenues par OC5-PHYSAT (en noir).
- Figure 14. Superposition des concentrations hebdomadaires de 19'Hexafucoxanthine obtenues par HPLC sur données *in situ* (en rose) et des concentrations en prymnésiophycées obtenues par OC5-PHYSAT (en noir).
- Figure 15. Superposition des concentrations hebdomadaires des pigments restants obtenues par HPLC sur données *in situ* (en rose) et des concentrations en autres nano-eucaryotes obtenues par OC5-PHYSAT (en noir).
- Figure 16. Localisation de la grille d'observation MODIS près de Banyuls en Région Occitanie.
- Figure 17. Localisation de la grille d'observation MODIS près de Marseille en Région SUD.
- Figure 18. Superposition des mesures de chlorophylle-a totale hebdomadaires obtenues par HPLC (en rose) et de la donnée satellite traitée par OC5 moyennée sur 7 jours (en noir).
- Figure 19. Superposition des concentrations hebdomadaires de zéaxanthine obtenues par HPLC sur données *in situ* (en rose) et des concentrations en cyanobactéries obtenues par OC5-PHYSAT (en noir)
- Figure 20. Superposition des concentrations hebdomadaires de fucoxanthine obtenues par HPLC sur données *in situ* (en rose) et des concentrations en diatomées obtenues par OC5-PHYSAT (en noir).
- Figure 21. Superposition des concentrations hebdomadaires de 19'Hexafucoxanthine obtenues par HPLC sur données *in situ* (en rose) et des concentrations en diatomées obtenues par OC5-PHYSAT (en noir),
- Figure 22. Superposition des concentrations hebdomadaires des autres pigments secondaires obtenues par HPLC sur données *in situ* (en rose) et des concentrations en autres nano-eucaryotes obtenues par OC5-PHYSAT (en noir),

Tableau 1 - Seuils charnières des ratios d'anomalies utilisés pour la classification des PFT dans la version 6 de l'algorithme OC5-PHYSAT.

14 ANNEXE 1 - SYNOPTIQUE DE L'ALGORITHME OC5-PHYSAT

La méthode PHYSAT, telle qu'elle est décrite dans (Navarro, 2014) est constituée des cinq étapes suivantes :

- Calcul des 10 spectres moyens de CHLA totales sur toute la zone par niveau observé. L'échelle est adaptée empiriquement pour le site en question.
- Normalisation des réflectances journalières par soustraction des spectres moyens à tous les points satellite de la zone et par échelle de niveaux. On enlève ainsi la composante du signal correspondant au pigment chlorophylle-a pour ne conserver que les anomalies correspondant aux autres pigments.
- Classification de tous les échantillons à l'aide d'un tableau de correspondance (Look-Up Table = LUT) contenant les coefficients charnières de chaque groupe (PFT) en fonction des différentes longueurs d'onde séparatrices (réflectances) pour une année entière.
- Filtrage des échantillons classifiés pour éliminer les identifications suspectes ou erronées.
- Tracé des pourcentages d'apparition de chaque PFT après cumuls mensuels ou hebdomadaires.



15 ANNEXE 2 - DONNEES PIGMENTAIRES CALVI-TETE-DE-CANYON

Liste des mesures HPLC disponibles sur le SITE CALVI

Pigments ULG Calvi-Tête-de-canyon 2012

An,	jour,	In1,	In2,	Peri,	Buta,	Fuco,	Neox,	Pras,	Viol,	19'HF,	Allo,	Zeax,	TChlb,	DVchla,	TChla
2012,	004,	001,	001,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00
2012,	009,	002,	002,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00
2012,	018,	003,	003,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00
2012,	025,	004,	004,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00
2012,	033,	005,	005,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00
2012,	040,	006,	006,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00
2012,	047,	007,	007,	4.16,	12.43,	27.08,	3.35,	12.37,	1.08,	20.40,	08.30,	08.42,	60.30,	6.14,	810.34
2012,	054,	008,	008,	8.32,	24.86,	55.16,	6.71,	14.75,	2.17,	40.80,	17.61,	17.95,	119.60,	12.28,	1621.78
2012,	061,	009,	009,	7.54,	36.57,	45.28,	12.44,	21.34,	4.26,	82.01,	10.47,	39.38,	163.49,	22.32,	660.40
2012,	068,	010,	010,	41.34,	42.43,	81.95,	8.08,	8.82,	5.34,	120.77,	32.21,	34.83,	90.58,	14.87,	912.30
2012,	075,	011,	011,	18.02,	66.26,	104.85,	19.31,	17.37,	6.58,	436.57,	128.45,	44.52,	184.04,	9.91,	2134.41
2012,	081,	012,	012,	4.04,	31.41,	30.08,	5.42,	4.07,	2.72,	145.13,	20.85,	105.69,	72.27,	22.67,	757.16
2012,	089,	013,	013,	0.00,	17.77,	13.67,	0.00,	0.00,	0.00,	32.22,	3.75,	35.34,	16.63,	3.13,	260.31
2012,	096,	014,	014,	0.00,	17.56,	9.90,	0.73,	0.00,	0.00,	50.92,	20.11,	62.76,	12.55,	2.88,	383.42
2012,	101,	015,	015,	0.00,	16.51,	9.15,	0.00,	0.00,	0.00,	72.93,	8.74,	63.43,	17.16,	4.04,	359.27
2012,	110,	016,	016,	0.00,	24.71,	13.06,	3.10,	0.00,	0.00,	88.18,	9.13,	71.36,	26.74,	5.13,	436.14
2012,	117,	017,	017,	0.00,	15.37,	7.18,	0.00,	0.00,	0.00,	42.70,	6.12,	44.62,	19.95,	4.01,	261.51
2012,	124,	018,	018,	0.00,	11.99,	9.06,	0.00,	0.00,	0.00,	37.50,	5.35,	40.42,	19.72,	0.00,	253.71
2012,	131,	019,	019,	0.00,	6.33,	3.45,	0.00,	0.00,	0.00,	50.23,	9.32,	63.05,	13.27,	0.00,	284.61
2012,	139,	020,	020,	0.00,	12.23,	7.88,	0.00,	0.00,	0.00,	29.66,	2.56,	36.24,	6.40,	0.00,	159.46
2012,	145,	021,	021,	0.00,	7.81,	5.31,	0.00,	0.00,	0.00,	25.69,	2.18,	26.26,	6.45,	0.00,	128.82
2012,	150,	022,	022,	2.11,	3.40,	2.74,	0.00,	0.00,	0.00,	21.73,	1.81,	14.10,	6.50,	0.00,	98.19
2012,	159,	023,	023,	8.71,	2.13,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	10.43,	1.35,	19.18,	4.99,	0.00,	72.34
2012,	166,	024,	024,	0.00,	2.10,	1.41,	0.00,	0.00,	0.00,	10.48,	0.00,	19.53,	4.59,	0.00,	63.06
2012,	173,	025,	025,	0.00,	2.59,	1.16,	0.00,	0.00,	0.00,	13.83,	0.00,	25.32,	5.87,	0.00,	81.74
2012,	180,	026,	026,	1.49,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	18.84,	0.00,	31.54,	6.63,	0.00,	104.35
2012,	187,	027,	027,	3.59,	3.56,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	11.53,	0.00,	16.76,	6.16,	0.00,	84.82
2012,	191,	028,	028,	0.00,	2.53,	2.39,	0.00,	0.00,	0.00,	7.61,	0.00,	22.14,	4.96,	0.00,	64.15
2012,	198,	029,	029,	0.00,	2.76,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	12.42,	0.92,	23.90,	7.47,	0.00,	81.66
2012,	208,	030,	030,	0.00,	3.14,	1.42,	0.00,	0.00,	0.00,	10.79,	0.00,	28.57,	4.46,	0.00,	58.07
2012,	214,	031,	031,	0.00,	2.87,	2.26,	0.00,	0.00,	0.00,	10.02,	0.00,	27.00,	4.11,	0.00,	65.81
2012,	221,	032,	032,	0.00,	1.85,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	15.91,	0.00,	32.19,	8.13,	2.27,	89.11
2012,	227,	033,	033,	0.00,	1.47,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	9.25,	0.00,	27.34,	6.92,	3.47,	59.51
2012,	235,	034,	034,	0.00,	1.78,	0.99,	0.00,	0.00,	0.00,	13.02,	1.13,	30.54,	11.02,	0.00,	88.01
2012,	242,	035,	035,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	19.20,	0.00,	36.64,	12.46,	0.00,	111.76
2012,	250,	036,	036,	0.00,	1.77,	2.17,	0.00,	0.00,	0.00,	8.59,	0.00,	37.95,	10.16,	13.32,	74.45
2012,	256,	037,	037,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	4.75,	0.00,	26.83,	3.04,	3.53,	41.13
2012,	262,	038,	038,	0.00,	2.59,	2.22,	0.00,	0.00,	0.00,	10.69,	0.00,	43.12,	7.61,	7.67,	85.66
2012,	271,	039,	039,	0.00,	6.81,	3.41,	0.00,	0.00,	0.00,	21.58,	0.00,	33.62,	10.51,	9.72,	111.93
2012,	278,	040,	040,	0.00,	8.67,	4.66,	0.00,	0.00,	0.00,	27.02,	0.00,	34.84,	8.62,	6.50,	124.85
2012,	284,	041,	041,	0.00,	9.80,	5.02,	0.00,	0.00,	0.00,	26.58,	0.00,	37.20,	7.73,	5.73,	126.65
2012,	291,	042,	042,	0.00,	14.70,	6.78,	0.00,	0.00,	0.00,	40.34,	0.00,	35.89,	9.61,	9.82,	166.60
2012,	300,	043,	043,	0.00,	7.21,	2.49,	0.00,	0.00,	2.45,	28.43,	0.00,	39.90,	8.81,	12.61,	144.33
2012,	304,	044,	044,	2.59,	14.23,	11.76,	0.00,	0.00,	1.17,	42.94,	1.55,	50.90,	19.87,	20.24,	243.26
2012,	312,	045,	045,	2.53,	19.07,	9.19,	0.00,	0.00,	0.00,	60.69,	8.94,	41.74,	16.74,	15.45,	267.43
2012,	321,	046,	046,	0.00,	16.66,	9.68,	0.00,	0.00,	0.00,	41.26,	1.46,	53.45,	25.02,	27.18,	220.37
2012,	327,	047,	047,	0.00,	22.39,	7.57,	0.00,	0.00,	0.00,	48.08,	1.51,	43.22,	20.18,	26.12,	216.30
2012,	332,	048,	048,	0.00,	20.64,	8.93,	0.00,	0.00,	0.00,	48.36,	1.21,	39.64,	21.88,	22.65,	201.45
2012,	341,	049,	049,	0.00,	30.86,	11.01,	1.03,	0.00,	0.00,	65.22,	3.22,	38.23,	26.58,	27.04,	262.49
2012,	346,	050,	050,	0.00,	55.10,	15.07,	1.61,	0.00,	0.67,	104.44,	5.37,	41.83,	31.97,	32.09,	381.54
2012,	353,	051,	051,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00
2012,	360,	052,	052,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00

Pigments ULG Calvi-Tête-de-canyon 2013

An,	jour,	In1,	In2,	Peri,	Buta,	Fuco,	Neox,	Pras,	Viol,	19'HF,	Allo,	Zeax,	TChlb,	DVchla,	TChla
2013,	004,	001,	053,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00,	0.00
2013,	010,	002,	054,	4.65,	32.11,	13.07,	4.50,	6.14,	1.60,	77.36,	9.81,	43.04,	80.30,	44.52,	340.42
2013,	018,	003,	055,	1.93,	19.83,	10.54,	3.62,	6.25,	0.00,	57.21,	8.77,	23.73,	61.93,	21.07,	259.67
2013,	025,	004,	056,	2.61,	16.85,	11.13,	3.96,	9.35,	1.06,	51.26,	14.19,	18.68,	92.13,	22.98,	328.98
2013,	031,	005,	057,	2.75,	17.32,	19.11,	5.15,	10.41,	0.87,	40.40,	12.87,	30.43,	105.75,	28.69,	311.84
2013,	038,	006,	058,	13.82,	25.22,	44.45,	5.27,	6.92,	1.77,	51.82,	24.52,	16.41,	73.49,	11.23,	427.16
2013,	046,	007,	059,	14.40,	28.39,	54.26,	11.49,	18.10,	5.04,	76.85,	25.56,	20.10,	159.84,	14.57,	605.54
2013,	050,	008,	060,	15.93,	32.97,	119.41,	17.76,	28.93,	5.95,	86.58,	21.89,	26.64,	217.52,	17.43,	804.47
2013,	056,	009,	061,	24.39,	25.95,	117.17,	8.27,	13.33,	4.06,	72.97,	12.37,	24.07,	103.84,	13.00,	576.55
2013,	065,	010,	062,	59.88,	36.22,	146.57,	14.24,	18.81,	10.52,	149.51,	35.09,	27.86,	201.31,	13.70,	1123.58
2013,	073,	011,	063,	40.15,	35.57,	91.03,	10.93,	13.86,	10.87,	169.42,	54.73,	71.61,	158.96,	11.32,	1025.89
2013,	080,	012,	064,	47.64,	29.17,	99.04,	7.49,	8.71,	3.59,	167.44,	32.34,	55.68,	125.73,	0.00,	887.99
2013,	087,	013,	065,	46.94,	63.79,	240.65,	19.61,	24.79,	14.03,	258.68,	80.09,	93.35,	246.91,	9.65,	1709.74
2013,	095,	014,	066,	10.06,	43.49,	82.69,	15.77,	19.74,	7.13,	144.86,	44.85,	76.09,	201.93,	0.00,	963.90
2013,	102,	015,	067,	6.20,	66.28,	74.69,	13.97,	13.43,	4.70,	188.78,	40.97,	148.16,	167.42,	0.00,	1038.24
2013,	107,	016,	068,	0.00,	23.03,	18.17,	2.35,	0.00,	1.27,	60.05,	20.99,	63.98,	30.22,	0.00,	346.64
2013,	115,	017,	069,	0.00,	34.64,	24.65,	3.75,	2.17,	2.71,	81.96,	6.59,	64.61,	28.66,	0.00,	346.60
2013,	121,	018,	070,	0.00,	23.03,	13.53,	1.99,	0.00,	0.82,	82.78,	9.00,	48.99,	22.87,	1.31,	314.02

2013, 129, 019, 071, 0.00, 13.14, 7.04, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 52.52, 4.02, 40.16, 12.91, 0.93, 197.02
2013, 135, 020, 072, 0.00, 10.84, 5.66, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 26.60, 1.21, 22.71, 5.20, 1.86, 104.45
2013, 144, 021, 073, 0.00, 4.73, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 19.76, 0.00, 13.87, 3.94, 0.00, 98.00
2013, 159, 022, 074, 0.00, 8.10, 3.61, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 28.72, 1.72, 13.33, 7.67, 0.00, 104.60
2013, 162, 023, 075, 0.00, 7.38, 2.99, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 34.88, 1.57, 17.58, 10.72, 0.00, 141.55
2013, 169, 024, 076, 0.00, 5.79, 3.11, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 21.58, 0.00, 24.53, 8.70, 0.00, 119.93
2013, 175, 025, 077, 0.00, 5.20, 3.41, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 18.22, 0.00, 19.79, 7.23, 0.00, 102.10
2013, 179, 026, 078, 0.00, 4.62, 3.72, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 14.86, 0.00, 15.05, 5.77, 0.00, 84.27
2013, 186, 027, 079, 0.00, 3.59, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 15.54, 0.00, 11.23, 4.06, 0.00, 61.69
2013, 191, 028, 080, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 8.20, 0.00, 18.20, 5.39, 0.00, 64.02
2013, 200, 029, 081, 2.78, 2.70, 1.62, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 11.19, 0.58, 24.61, 10.72, 0.00, 99.25
2013, 208, 030, 082, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 2.69, 6.46, 0.00, 15.76
2013, 215, 031, 083, 0.00, 5.33, 2.81, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 16.44, 0.00, 25.42, 9.65, 0.00, 101.00
2013, 219, 032, 084, 0.00, 3.28, 2.57, 0.00, 0.00, 1.23, 13.90, 0.00, 24.87, 8.44, 0.00, 101.88
2013, 226, 033, 085, 0.00, 2.91, 1.49, 0.00, 0.00, 0.00, 12.96, 0.00, 19.40, 9.80, 0.00, 88.81
2013, 234, 034, 086, 0.00, 3.49, 3.09, 0.00, 0.00, 0.00, 18.82, 0.00, 37.63, 11.88, 1.28, 110.79
2013, 243, 035, 087, 0.00, 4.99, 3.07, 0.00, 0.00, 0.00, 13.33, 0.00, 26.59, 10.20, 5.05, 99.56
2013, 247, 036, 088, 0.00, 2.01, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 8.35, 0.00, 29.30, 8.40, 5.20, 77.58
2013, 256, 037, 089, 0.00, 5.12, 3.09, 0.00, 0.00, 0.00, 13.94, 0.00, 27.64, 8.49, 9.45, 92.64
2013, 264, 038, 090, 0.00, 5.61, 3.41, 0.00, 0.00, 0.00, 14.28, 0.00, 29.32, 7.80, 10.81, 85.87
2013, 271, 039, 091, 0.00, 3.43, 1.19, 0.00, 0.00, 0.00, 13.39, 0.00, 30.37, 10.35, 12.14, 98.66
2013, 275, 040, 092, 0.00, 7.04, 2.76, 0.00, 0.00, 0.00, 25.81, 0.00, 35.30, 8.75, 12.32, 139.47
2013, 283, 041, 093, 0.00, 3.58, 0.87, 0.00, 0.00, 0.00, 12.25, 0.00, 24.47, 4.52, 13.37, 79.31
2013, 289, 042, 094, 0.00, 9.38, 3.01, 0.00, 0.00, 0.00, 28.63, 0.00, 32.03, 12.53, 21.37, 143.80
2013, 303, 043, 095, 0.00, 5.74, 1.50, 0.00, 0.00, 0.00, 20.05, 0.00, 33.62, 9.60, 15.91, 114.08
2013, 308, 044, 096, 0.00, 2.10, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 11.46, 0.00, 35.22, 6.68, 10.46, 84.36
2013, 313, 045, 097, 0.00, 11.68, 4.25, 0.00, 0.00, 0.00, 35.31, 0.78, 29.42, 14.40, 18.14, 152.77
2013, 320, 046, 098, 0.00, 14.35, 4.92, 0.00, 0.00, 0.00, 38.73, 1.37, 34.10, 18.66, 21.47, 172.08
2013, 327, 047, 099, 0.00, 17.02, 5.59, 0.00, 0.00, 0.00, 42.15, 1.96, 38.78, 22.93, 24.80, 191.39
2013, 334, 048, 100, 0.00, 19.69, 6.26, 0.00, 0.00, 0.00, 45.57, 2.55, 43.56, 27.20, 31.59, 210.70
2013, 341, 049, 101, 0.00, 22.36, 6.94, 1.36, 0.00, 0.00, 49.00, 3.15, 48.14, 31.47, 38.38, 230.01
2013, 345, 050, 102, 0.00, 26.97, 8.52, 0.00, 0.00, 0.00, 65.55, 10.43, 53.22, 30.05, 41.23, 341.50
2013, 348, 051, 103, 2.74, 25.81, 7.66, 1.03, 0.00, 0.00, 57.23, 3.58, 46.19, 39.82, 52.24, 279.78
2013, 352, 052, 104, 0.00, 28.62, 10.41, 0.00, 0.00, 0.00, 66.90, 5.00, 47.71, 39.52, 50.34, 302.29

Pigments ULG Calvi-Tête-de-canyon 2014

An	jour	In1	In2	Peri	Buta	Fuco	Neox	Pras	Viol	19'HF	Allo	Zeax	TChlb	DVchla	TChla
2014, 005, 001, 105, 1.65, 25.13, 8.61, 0.00, 0.91, 0.00, 64.30, 5.65, 40.20, 38.56, 44.95, 319.63															
2014, 010, 002, 106, 3.31, 21.67, 6.82, 0.00, 1.83, 0.00, 61.71, 6.28, 33.31, 37.60, 39.57, 336.98															
2014, 018, 003, 107, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00															
2014, 025, 004, 108, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00															
2014, 033, 005, 109, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00															
2014, 040, 006, 110, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00															
2014, 050, 007, 111, 9.83, 29.73, 33.39, 9.52, 16.26, 5.71, 75.38, 32.63, 90.73, 138.15, 65.06, 718.83															
2014, 051, 008, 112, 0.00, 28.82, 29.64, 6.77, 10.36, 5.82, 72.99, 26.57, 68.19, 92.61, 46.15, 579.97															
2014, 056, 009, 113, 5.19, 17.83, 32.47, 2.81, 5.39, 0.00, 49.14, 15.32, 55.89, 67.81, 30.37, 474.99															
2014, 063, 010, 114, 5.15, 27.31, 23.56, 2.83, 5.12, 0.00, 98.07, 16.33, 72.31, 78.11, 38.00, 647.40															
2014, 073, 011, 115, 5.24, 43.31, 27.67, 4.64, 4.64, 0.00, 171.60, 17.52, 105.54, 62.14, 27.00, 730.09															
2014, 078, 012, 116, 0.00, 23.33, 17.96, 2.23, 2.10, 3.33, 85.46, 10.75, 109.58, 19.28, 21.67, 417.17															
2014, 081, 013, 117, 1.75, 19.80, 14.64, 0.66, 1.11, 0.87, 71.49, 8.11, 80.51, 13.87, 14.37, 359.75															
2014, 085, 014, 118, 0.00, 34.75, 25.33, 2.62, 1.63, 1.27, 132.89, 11.28, 100.84, 23.86, 17.04, 578.96															
2014, 092, 015, 119, 0.00, 24.19, 14.64, 2.12, 1.79, 0.00, 101.70, 16.77, 60.52, 25.10, 4.21, 520.39															
2014, 108, 016, 120, 0.00, 11.06, 4.15, 0.00, 0.00, 0.00, 36.72, 3.89, 44.62, 12.45, 2.98, 243.76															
2014, 109, 017, 121, 0.00, 11.26, 5.59, 0.00, 0.00, 0.00, 34.65, 2.45, 37.63, 6.31, 1.41, 161.39															
2014, 113, 018, 122, 0.00, 16.78, 8.24, 0.00, 0.00, 0.00, 46.40, 1.72, 48.35, 8.82, 2.93, 223.91															
2014, 122, 019, 123, 0.00, 12.83, 4.73, 0.00, 0.00, 0.00, 34.19, 0.94, 28.78, 7.63, 1.81, 163.30															
2014, 128, 020, 124, 0.00, 8.37, 3.86, 0.00, 0.00, 0.90, 25.42, 1.00, 26.05, 8.00, 0.93, 133.75															
2014, 135, 021, 125, 0.00, 6.51, 2.62, 0.00, 0.00, 0.00, 21.80, 0.00, 15.50, 5.05, 1.37, 103.54															
2014, 143, 022, 126, 0.00, 5.57, 2.06, 0.00, 0.00, 0.00, 24.95, 0.00, 13.24, 6.12, 0.00, 110.69															
2014, 150, 023, 127, 0.00, 6.62, 3.29, 0.00, 0.00, 2.22, 21.13, 0.00, 11.91, 4.28, 1.03, 85.31															
2014, 156, 024, 128, 0.00, 3.10, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 6.71, 0.00, 9.75, 0.00, 0.00, 38.47															
2014, 161, 025, 129, 0.00, 1.82, 1.05, 0.00, 0.00, 0.00, 4.49, 0.00, 12.13, 0.00, 0.00, 37.39															
2014, 171, 026, 130, 0.00, 0.00, 1.57, 0.00, 0.00, 0.00, 3.56, 0.00, 18.27, 2.02, 1.41, 36.33															
2014, 176, 027, 131, 0.00, 3.79, 2.47, 0.00, 0.00, 0.00, 8.19, 0.00, 15.87, 0.00, 0.00, 68.66															
2014, 180, 028, 132, 0.00, 3.61, 4.23, 0.00, 0.00, 0.00, 11.10, 0.00, 17.98, 6.87, 0.00, 78.66															
2014, 193, 029, 133, 0.00, 4.74, 3.12, 0.00, 0.00, 0.00, 13.90, 0.00, 17.82, 5.13, 2.29, 79.40															
2014, 198, 030, 134, 0.00, 2.61, 1.81, 0.00, 0.00, 0.00, 6.90, 0.00, 20.44, 4.01, 2.07, 57.09															
2014, 205, 031, 135, 0.00, 2.16, 2.04, 0.00, 0.00, 1.83, 10.16, 0.00, 24.10, 5.00, 1.69, 75.94															
2014, 214, 032, 136, 0.00, 2.35, 1.46, 0.00, 0.00, 0.00, 10.36, 0.00, 13.86, 3.88, 1.47, 58.54															
2014, 221, 033, 137, 0.00, 1.72, 6.58, 0.00, 0.00, 0.00, 8.53, 0.00, 23.20, 4.92, 0.00, 81.91															
2014, 227, 034, 138, 0.00, 2.35, 1.46, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 13.86, 3.88, 1.47, 58.54															
2014, 232, 035, 139, 0.00, 0.71, 2.83, 0.00, 0.00, 0.00, 14.88, 0.00, 21.02, 6.15, 2.34, 84.24															
2014, 232, 036, 140, 0.00, 1.45, 2.04, 0.00, 0.00, 0.00, 12.02, 0.00, 22.55, 1.84, 3.05, 69.74															
2014, 249, 037, 141, 0.00, 2.20, 1.26, 0.00, 0.00, 0.00, 9.17, 0.00, 24.09, 3.54, 3.76, 55.25															
2014, 257, 038, 142, 0.00, 3.26, 6.88, 0.00, 0.00, 13.60, 16.96, 0.00, 25.95, 6.49, 3.32, 86.58															
2014, 261, 039, 143, 0.00, 2.11, 2.00, 0.00, 0.00, 0.00, 11.32, 0.00, 24.10, 4.39, 3.97, 66.23															
2014, 274, 040, 144, 0.00, 2.19, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 8.51, 0.00, 25.83, 5.32, 2.34, 58.60															
2014, 280, 041, 145, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00															
2014, 287, 042, 146, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00															
2014, 294, 043, 147, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00															
2014, 301, 044, 148, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00															
2014, 304, 045, 149, 0.00, 3.34, 1.18, 0.00, 0.00, 0.44, 9.59, 0.00, 16.10, 5.33, 7.60, 63.61															
2014, 311, 046, 150, 0.00, 6.17, 2.24, 0.00, 0.00, 1.63, 19.06, 0.00, 21.78, 9.03, 11.15, 110.73															
2014, 317, 047, 151, 2.21, 9.00, 3.30, 0.00, 0.00, 2.82, 28.54, 0.00, 27.46, 12.74, 14.70, 157.85															
2014, 332, 048, 152, 0.00, 7.32, 2.23, 0.00, 0.00, 0.00, 23.02, 0.00, 27.07, 11.07, 22.10, 149.70															
2014, 336, 049, 153, 0.00, 9.98, 3.27, 0.00, 0.00, 1.09, 27.39, 0.82, 30.56, 16.12, 31.83, 165.60															
2014, 341, 050, 154, 0.00, 12.33, 3.36, 0.00, 0.00, 0.54, 32.63, 1.38, 35.40, 17.92, 33.78, 188.22															
2014, 347, 051, 155, 0.00, 14.68, 3.46, 0.00, 0.00, 0.00, 37.87, 1.95, 40.25, 19.72, 35.73, 210.84															
2014, 350, 052, 156, 0.00, 19.40, 5.76, 0.00, 0.00, 0.00, 42.59, 1.61, 42.79, 24.55, 39.06, 223.99															

Pigments ULG Calvi-Tête-de-canyon 2015

An,	jour,	In1,	In2,	Peri,	Buta,	Fuco,	Neox,	Pras,	Viol,	19'HF,	Allo,	Zeax,	TChlb,	DVchla,	TChla
2015	005	001	157	0.00	17.59	5.85	0.00	0.00	0.00	42.68	2.31	30.04	24.91	35.97	208.45
2015	012	002	158	0.00	16.69	5.90	0.00	0.00	0.00	42.73	2.66	23.66	25.09	34.42	200.98
2015	019	003	159	0.00	15.79	5.95	0.00	0.00	0.00	42.78	3.01	17.29	25.28	32.88	193.52
2015	027	004	160	0.00	35.76	14.36	0.00	2.25	0.00	88.49	9.74	34.27	31.53	39.44	378.19
2015	028	005	161	0.00	30.07	14.18	0.00	1.84	0.00	84.84	7.19	23.84	38.54	37.54	303.34
2015	041	006	162	0.00	27.95	20.24	3.60	8.72	4.57	76.16	13.11	34.83	91.56	47.26	477.37
2015	054	007	164	0.00	21.52	18.75	3.60	7.73	2.76	60.89	12.89	22.43	69.67	22.72	403.77
2015	058	008	165	0.00	44.14	131.96	3.01	8.63	4.75	106.60	17.04	30.20	98.66	20.28	824.14
2015	064	009	165	6.01	51.42	47.26	6.63	10.32	1.55	207.68	37.34	28.65	105.65	17.71	875.96
2015	070	010	166	0.00	26.70	23.24	1.64	7.11	0.00	116.72	16.01	0.00	55.60	8.72	436.23
2015	079	011	168	0.00	41.33	77.62	3.99	5.88	2.42	138.43	22.77	59.85	82.40	18.45	822.24
2015	084	012	168	0.00	28.86	25.74	2.52	3.24	0.00	102.28	11.67	52.23	53.66	13.03	498.05
2015	092	013	169	0.00	03.41	4.95	0.00	0.00	0.00	17.04	0.00	19.55	7.37	5.11	84.94
2015	099	014	170	3.61	43.54	27.58	3.31	2.37	0.00	128.63	16.84	87.83	49.70	7.47	624.09
2015	106	015	171	0.00	12.11	10.49	0.00	0.00	0.63	34.21	5.07	54.42	4.14	2.17	192.87
2015	112	016	172	0.00	9.35	6.51	0.00	0.00	0.00	34.45	5.23	52.01	4.54	1.90	186.55
2015	119	017	173	0.00	3.54	0.00	0.00	0.00	0.00	15.63	1.91	11.94	2.35	0.00	48.16
2015	126	018	174	0.00	3.90	1.96	0.00	0.00	0.00	17.71	1.68	16.51	0.00	0.00	80.76
2015	134	019	175	0.00	2.36	1.14	0.00	0.00	0.00	9.73	0.84	14.76	3.63	0.00	55.14
2015	134	020	176	0.00	2.78	1.65	0.00	0.00	0.00	11.33	0.77	22.69	3.92	0.00	68.78
2015	147	021	177	0.00	3.20	2.16	0.00	0.00	0.00	12.94	0.70	30.62	4.22	0.00	82.42
2015	154	022	178	0.00	1.61	1.65	0.00	0.00	0.00	9.18	0.70	12.15	3.07	0.00	60.94
2015	160	023	179	0.00	2.94	1.26	0.00	0.00	0.00	10.13	0.00	9.14	3.99	0.00	54.03
2015	163	024	180	0.00	3.28	6.06	0.00	0.00	0.00	16.31	0.00	10.68	5.48	1.29	77.60
2015	168	025	181	0.00	4.15	1.75	0.00	0.00	0.00	18.84	0.00	10.49	6.81	0.00	72.42
2015	181	026	182	0.00	2.65	2.39	0.00	0.00	0.00	13.22	0.00	10.45	2.73	1.52	68.02
2015	189	027	183	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.87	0.00	14.22	1.46	0.00	39.76
2015	196	028	184	0.00	2.55	1.43	0.00	0.00	0.00	15.19	0.00	19.14	7.41	0.00	81.47
2015	203	029	185	0.00	3.20	2.56	0.00	0.00	1.38	12.81	0.59	22.86	6.35	0.00	77.04
2015	204	030	186	0.00	0.98	1.21	0.00	0.00	0.00	7.23	0.00	16.48	3.39	0.00	45.32
2015	212	031	187	0.00	3.70	3.08	0.00	0.00	0.00	7.65	0.00	17.76	5.97	0.00	62.70
2015	224	032	188	0.00	3.26	2.04	0.00	0.00	0.00	16.08	0.00	21.42	6.03	0.00	78.91
2015	229	033	188	0.00	2.73	1.93	0.00	0.00	0.00	12.45	0.00	21.65	5.44	0.96	72.32
2015	233	034	190	0.00	2.21	1.83	0.00	0.00	0.00	8.83	0.00	21.89	4.85	1.92	65.74
2015	245	035	191	0.00	0.00	1.34	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	13.06	4.37	0.00	42.06
2015	252	036	192	0.00	2.70	2.42	0.00	0.00	0.00	9.32	0.00	24.10	1.11	1.90	48.55
2015	260	037	193	0.00	1.27	1.96	0.00	0.00	0.00	6.55	0.00	14.98	2.08	3.20	46.81
2015	269	038	195	0.00	1.89	1.97	0.00	0.00	0.00	12.64	0.00	16.67	7.34	4.63	69.03
2015	269	039	195	0.00	4.81	2.82	0.00	0.00	0.00	15.46	0.00	27.51	5.94	4.98	100.19
2015	279	040	196	0.00	6.68	3.40	0.00	0.00	2.28	20.75	0.00	35.12	12.01	16.60	108.62
2015	287	041	197	0.00	4.64	2.95	0.00	0.00	0.00	13.87	0.00	25.87	6.94	9.48	88.91
2015	287	042	198	0.00	6.27	4.88	0.00	0.00	0.00	16.71	0.00	29.23	10.30	12.77	108.06
2015	287	043	199	0.00	5.90	3.75	0.00	0.00	0.00	16.97	0.00	26.69	8.08	11.31	100.87
2015	308	044	200	0.00	5.54	2.62	0.00	0.00	2.37	17.24	0.86	30.16	5.86	9.86	93.69
2015	315	045	201	0.00	6.96	2.82	0.00	0.00	0.00	22.32	1.37	32.31	11.10	10.01	121.89
2015	322	046	202	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2015	329	047	203	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2015	336	048	204	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2015	342	049	205	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2015	349	050	206	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2015	356	051	207	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2015	362	052	208	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

16 ANNEXE 3 - DONNEES PIGMENTAIRES SOMLIT

Liste des mesures HPLC disponibles sur les sites SOMLIT

SITE DE BANYULS-Sola

Pigments SOMLIT Banyuls-Sola 2017

Year	day	I1	I2	TChla	Peri	Buta	Fuco	19HF	Allo	Zeax	TChlb	Prasi	Viola	Neox
2017	1003	40	0	240.00	0.00	20.00	20.00	50.00	10.00	40.00	10.00	0.00	0.00	0.00
2017	1010	41	0	290.00	0.00	20.00	40.00	70.00	0.00	40.00	10.00	0.00	0.00	0.00
2017	1016	42	0	300.00	0.00	20.00	40.00	50.00	0.00	50.00	30.00	10.00	0.00	0.00
2017	1023	43	0	740.00	20.00	40.00	180.00	110.00	20.00	30.00	30.00	10.00	0.00	0.00
2017	1031	44	0	650.00	10.00	60.00	120.00	140.00	10.00	50.00	30.00	10.00	0.00	0.00
2017	1108	45	0	480.00	10.00	40.00	80.00	80.00	10.00	30.00	20.00	0.00	0.00	0.00
2017	1115	46	0	370.00	10.00	30.00	60.00	60.00	10.00	30.00	20.00	10.00	0.00	0.00
2017	1121	47	0	490.00	10.00	30.00	80.00	50.00	20.00	30.00	70.00	20.00	10.00	0.00
2017	1128	48	0	1090.00	10.00	30.00	340.00	60.00	20.00	10.00	40.00	10.00	0.00	0.00
2017	1205	49	0	1980.00	20.00	30.00	870.00	60.00	10.00	0.00	20.00	10.00	0.00	0.00
2017	1212	50	0	1340.00	20.00	30.00	530.00	70.00	20.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00
2017	1219	51	0	590.00	10.00	60.00	120.00	100.00	20.00	20.00	40.00	10.00	0.00	0.00

Pigments SOMLIT Banyuls-Sola 2018

Year	day	I1	I2	TChla	Peri	Buta	Fuco	19HF	Allo	Zeax	TChlb	Prasi	Viola	Neox
2018	0109	02	0	760.00	40.00	30.00	100.00	50.00	40.00	10.00	130.00	60.00	10.00	0.00
2018	0115	03	0	870.00	70.00	40.00	120.00	80.00	40.00	10.00	120.00	40.00	10.00	0.00
2018	0123	04	0	940.00	70.00	40.00	220.00	100.00	40.00	10.00	60.00	20.00	10.00	0.00
2018	0130	05	0	810.00	20.00	20.00	180.00	80.00	30.00	10.00	110.00	40.00	10.00	0.00
2018	0206	06	0	980.00	20.00	30.00	140.00	140.00	60.00	10.00	130.00	50.00	20.00	0.00
2018	0220	08	0	1540.00	30.00	40.00	410.00	240.00	40.00	0.00	70.00	30.00	10.00	0.00
2018	0306	10	0	730.00	40.00	10.00	150.00	50.00	30.00	0.00	60.00	10.00	10.00	0.00
2018	0410	15	0	1390.00	20.00	10.00	50.00	60.00	30.00	10.00	40.00	10.00	0.00	0.00

SITE DE Marseille-Frioul

Pigments SOMLIT Marseille-Frioul 2018

Year	day	I1	I2	TChla	Peri	Buta	Fuco	19HF	Allo	Zeax	TChlb	Prasi	Viola	Neox
2018	0215	07	0	400.00	10.00	30.00	80.00	50.00	10.00	10.00	60.00	20.00	10.00	0.00
2018	0406	14	0	870.00	0.00	40.00	80.00	130.00	30.00	20.00	80.00	30.00	0.00	0.00
2018	0419	16	0	800.00	0.00	50.00	60.00	150.00	40.00	120.00	40.00	20.00	0.00	0.00
2018	0507	19	0	490.00	0.00	30.00	90.00	80.00	20.00	60.00	10.00	0.00	0.00	0.00
2018	0518	20	0	770.00	0.00	50.00	180.00	110.00	20.00	40.00	40.00	10.00	10.00	0.00
2018	0601	22	0	300.00	0.00	10.00	40.00	80.00	0.00	30.00	20.00	0.00	0.00	0.00
2018	0608	23	0	240.00	0.00	10.00	30.00	60.00	0.00	30.00	20.00	0.00	0.00	0.00
2018	0621	25	0	210.00	0.00	10.00	20.00	50.00	10.00	20.00	10.00	0.00	0.00	0.00
2018	0626	26	0	220.00	0.00	20.00	20.00	80.00	0.00	30.00	10.00	0.00	0.00	0.00
2018	0702	27	0	140.00	0.00	10.00	30.00	30.00	0.00	20.00	10.00	0.00	0.00	0.00
2018	0712	28	0	190.00	10.00	10.00	20.00	40.00	20.00	20.00	10.00	0.00	0.00	0.00

17 ANNEXE 4 - TABLE DE CORRESPONDANCE N° SEMAINES / JOURS

Correspondance entre numéros de périodes de 7 jours (semaines légèrement décalées) et les dates du calendrier pour les années non bissextilles (2013,2014,2015,2017,2018).

semaine 01	1er Janvier	7 Janvier
semaine 02	8 Janvier	14 Janvier
semaine 03	15 Janvier	21 Janvier
semaine 04	22 Janvier	28 Janvier
semaine 05	29 Janvier	4 Février
semaine 06	5 Février	11 Février
semaine 07	12 Février	18 Février
semaine 08	19 Février	25 Février
semaine 09	26 Février	4 Mars
semaine 10	5 Mars	11 Mars
semaine 11	12 Mars	18 Mars
semaine 12	19 Mars	25 Mars
semaine 13	26 Mars	1er Avril
semaine 14	2 Avril	8 Avril
semaine 15	9 Avril	15 Avril
semaine 16	16 Avril	22 Avril
semaine 17	23 Avril	29 Avril
semaine 18	30 Avril	6 Mai
semaine 19	7 Mai	13 Mai
semaine 20	14 Mai	20 Mai
semaine 21	21 Mai	27 Mai
semaine 22	28 Mai	3 Juin
semaine 23	4 Juin	10 Juin
semaine 24	11 Juin	17 Juin
semaine 25	18 Juin	24 Juin
semaine 26	25 Juin	1er Juillet
semaine 27	2 Juillet	8 Juillet
semaine 28	9 Juillet	15 Juillet
semaine 29	16 Juillet	22 Juillet
semaine 30	23 Juillet	29 Juillet
semaine 31	30 Juillet	5 Août
semaine 32	6 Août	12 Août
semaine 33	13 Août	19 Août
semaine 34	20 Août	26 Août
semaine 35	27 Août	2 Septembre
semaine 36	3 Septembre	9 Septembre
semaine 37	10 Septembre	16 Septembre
semaine 38	17 Septembre	23 Septembre

semaine 39	24 Septembre	30 Septembre
semaine 40	1er Octobre	7 Octobre
semaine 41	8 Octobre	14 Octobre
semaine 42	15 Octobre	21 Octobre
semaine 43	22 Octobre	28 Octobre
semaine 44	29 Octobre	4 Novembre
semaine 45	5 Novembre	11 Novembre
semaine 46	12 Novembre	18 Novembre
semaine 47	19 Novembre	25 Novembre
semaine 48	26 Novembre	2 Décembre
semaine 49	3 Décembre	9 Décembre
semaine 50	10 Décembre	17 Décembre
semaine 51	18 Décembre	23 Décembre
semaine 52	24 Décembre	31 Décembre (8 jours)

Correspondance entre numéros de périodes de 7 jours (semaines légèrement décalées) et les dates du calendrier pour les années bissextiles (2012,2016,2020)

semaine 01	1er Janvier	7 Janvier
semaine 02	8 Janvier	14 Janvier
semaine 03	15 Janvier	21 Janvier
semaine 04	22 Janvier	28 Janvier
semaine 05	29 Janvier	4 Février
semaine 06	5 Février	11 Février
semaine 07	12 Février	18 Février
semaine 08	19 Février	25 Février
semaine 09	26 Février	3 Mars
semaine 10	4 Mars	10 Mars
semaine 11	11 Mars	17 Mars
semaine 12	18 Mars	24 Mars
semaine 13	25 Mars	31 Mars
semaine 14	1er Avril	7 Avril
semaine 15	8 Avril	14 Avril
semaine 16	17 Avril	21 Avril
semaine 17	22 Avril	28 Avril
semaine 18	29 Avril	5 Mai
semaine 19	6 Mai	12 Mai
semaine 20	13 Mai	19 Mai
semaine 21	20 Mai	26 Mai
semaine 22	27 Mai	2 Juin
semaine 23	3 Juin	9 Juin
semaine 24	10 Juin	16 Juin
semaine 25	17 Juin	23 Juin
semaine 26	24 Juin	30 Juin
semaine 27	1er Juillet	7 Juillet

semaine 28	8 Juillet	14 Juillet
semaine 29	15 Juillet	21 Juillet
semaine 30	22 Juillet	28 Juillet
semaine 31	29 Juillet	4 Août
semaine 32	5 Août	11 Août
semaine 33	12 Août	18 Août
semaine 34	19 Août	25 Août
semaine 35	26 Août	1 Septembre
semaine 36	2 Septembre	8 Septembre
semaine 37	9 Septembre	15 Septembre
semaine 38	16 Septembre	22 Septembre
semaine 39	23 Septembre	29 Septembre
semaine 40	30 Septembre	6 Octobre
semaine 41	7 Octobre	13 Octobre
semaine 42	14 Octobre	20 Octobre
semaine 43	21 Octobre	27 Octobre
semaine 44	28 Octobre	3 Novembre
semaine 45	4 Novembre	10 Novembre
semaine 46	11 Novembre	17 Novembre
semaine 47	18 Novembre	24 Novembre
semaine 48	25 Novembre	1 Décembre
semaine 49	2 Décembre	8 Décembre
semaine 50	9 Décembre	16 Décembre
semaine 51	17 Décembre	22 Décembre
semaine 52	23 Décembre	31 Décembre (9 jours)