

RESUME

Le suivi stationnel (tel que prévu en France en application de la DCE) pour la couverture végétale des macroalgues des estrans intertidaux permet, sur des points de surveillance, de connaître très finement mais localement l'évolution des peuplements et des ceintures de macroalgues (Ar Gall and Le Duff, 2014). A des échelles spatiales plus importantes, ce type de suivi n'est plus adapté pour rendre compte, à l'échelle de tout l'estran de la masse d'eau, des changements de la répartition des grandes communautés algales (évolution de la proportion algues vertes / algues brunes / algues rouges) et de suivre l'évolution globale des habitats rocheux d'estran. Ce suivi de l'évolution de la couverture algale est particulièrement important dans le contexte actuel de changement climatique et d'eutrophisation.

Les objectifs du présent projet sont de :

1. montrer l'apport et la complémentarité de la télédétection hyperspectrale appliquée à l'échelle sectorielle par rapport au suivi stationnel actuel des macroalgues intertidales ;

Dans ce contexte, des images hyperspectrales aéroportées (résolution spectrale : 126 bandes ; résolution spatiale : 60cm) ont été acquises en juillet 2018. Après des corrections géométriques et atmosphériques, ces images ont été analysées à travers une chaîne de traitements incluant une MNF (Minimum Noise Fraction), le retrait du continuum, une comparaison des signatures spectrales par rapport à une librairie spectrale acquise *in situ* et l'application du VCI (Vegetation Cover Index). Ces analyses ont permis d'obtenir une classification générale du pourcentage de recouvrement des algues brunes, vertes et rouges et de différents types de substrats. La vision synoptique qu'offre la télédétection hyperspectrale, avec la possibilité de discriminer les 3 classes d'algues sur toute la surface du platier rocheux (plusieurs dizaines d'hectares), est complémentaire aux données stationnelles qui apportent davantage de précision taxonomique mais sur une échelle spatiale plus restreinte (surface échantillonnée de 3 m²).

2. faire ressortir le(s) paramètre(s) le plus pertinent(s) pour rendre compte de l'évolution de la masse d'eau FRHC10 à partir du traitement des images hyperspectrales ;

Les données hyperspectrales ont permis, à l'échelle du platier rocheux de Grandcamp-Maisy, d'extraire les surfaces colonisées pour chaque type d'algues qui peuvent constituer différentes métriques. Un indicateur sectoriel a donc été proposé avec le calcul de 4 métriques (*i.e.* Couverture végétalisée globale ; Couverture des algues vertes opportunistes ; Ratio pourcentage d'algues rouges par rapport aux algues brunes ; Couverture des fucales denses par rapport à une surface de référence) inspirées des métriques déjà mises en application pour les indicateurs macroalgues intertidales au niveau européen. Ces métriques peuvent nous renseigner respectivement sur l'état de santé des ceintures algales, l'eutrophisation du milieu, la structure des communautés algales et l'évolution de la ceinture de fucales. L'EQR calculé à partir de l'image hyperspectrale de 2018 donne des scores comparables aux EQR obtenus dans le cadre de l'indicateur DCE stationnel pour les années entre 2007 et 2012, ainsi qu'en octobre 2017, classant la masse d'eau en bon état écologique. Les métriques « couverture

végétalisée globale » et « couverture des algues opportunistes » sont cohérentes entre les estimations stationnelles et sectorielles avec respectivement un bon état et un état moyen.

D'autre part, une image hyperspectrale avait été acquise en avril 2007. La comparaison spatio-temporelle des signatures spectrales et des surfaces analysées pour chaque classe d'algues avec les images hyperspectrales de 2018, a permis de mettre en évidence les variations saisonnières (printemps *versus* été), avec notamment une colonisation plus importante du platier en été et une augmentation significative de la présence d'algues vertes, considérées comme opportunistes et qui prolifèrent pendant la saison estivale.

3. tester l'utilisation d'un drone équipé d'un capteur multispectral pour suivre à très haute résolution spatiale l'évolution du couvert végétal et du substrat rocheux ;

Des images multispectrales (4 bandes : R-V-B-PIR) à très haute résolution spatiale (1cm) ont été acquises à l'aide d'un drone en juillet 2018. L'analyse des signatures spectrales dans le visible et proche-infrarouge a permis d'obtenir des résultats satisfaisants pour la cartographie des 3 grands types d'algues (rouges, vertes, brunes). La discrimination des algues a été rendu possible grâce à la très haute résolution spatiale qui limite les mélanges surfaciques entre les classes. Un traitement de dégradation de la résolution spatiale à 10cm, 60cm et 100cm a permis de montrer qu'à partir de 60cm, la distinction des 3 classes d'algues n'est plus assez fiable.

4. réaliser une analyse technique et financière de l'approche hyperspectrale et par drone en présentant également les limites inhérentes à chaque type d'approche ;

L'analyse technique et financière a permis de comparer l'apport de chaque méthode pour compléter les relevés *in situ* réalisés dans le cadre du suivi stationnel des macroalgues intertidales.

- La technologie hyperspectrale permet d'assurer une discrimination fiable des 3 classes d'algues, et d'autres signatures d'intérêt (substrats, microphytobenthos, mélange d'algues...). Actuellement, la mise en place des acquisitions (capteurs embarqués à bord d'un avion) est onéreuse et reste difficile à envisager à l'échelle des côtes françaises de manière opérationnelle. Cependant, des missions ponctuelles sur des masses d'eau sensibles pourraient être nécessaires pour le développement d'un indicateur sectoriel. L'émergence des futures missions hyperspectrales satellitaires offre également des perspectives intéressantes.
- Les acquisitions par drone permettent d'obtenir des images avec une résolution spatiale fine, inégalée à l'heure actuelle par d'autres plateformes, qui peuvent être utilisée comme des cartes de vérités terrain. Un capteur multispectral à 4 bandes (R-V-B-PIR) peut être suffisant pour discriminer les classes d'algues vertes, rouges et brunes, à conditions de garder une résolution spatiale suffisante pour limiter les mélanges surfaciques (entre 10 et 30 cm). L'émergence des capteurs hyperspectraux de taille réduite (adapté au support par drone) offre également de nouvelles perspectives afin d'obtenir des vérités terrain complètes et fiables avec une surface prospectée plus importante que ce que peuvent réaliser ponctuellement des opérateurs terrain. Le déploiement du drone est cependant onéreux et ne peut s'appliquer dans un cadre opérationnel à l'échelle des masses d'eau des côtes françaises.

- Les capteurs satellitaires multispectraux ont l'avantage d'avoir une fauchée large permettant d'obtenir une image d'une, voire plusieurs masses d'eau, en une seule acquisition. Ces données sont peu onéreuses, voire gratuites, et pourraient être déployées de façon opérationnelle à l'échelle du littoral français. Cependant ces capteurs peuvent être limités par leurs résolutions spatiales, spectrales ou temporelles. C'est le cas de Sentinel-2 qui dispose d'un nombre de bandes satisfaisant (13 bandes dont 10 entre 430 et 955 nm), mais avec une résolution spatiale de 10m et une période d'acquisition non adapté au littoral normand (décalage avec les horaires de basse mer de vives eaux en Manche). Des acquisitions programmées sur des plages horaires définies avec les satellites Pléiades, dont la résolution spatiale peut atteindre 50cm, pourraient pallier ces difficultés, mais la résolution spectrale (4 bandes entre 430 et 950 nm) reste limitée pour une discrimination fiable des classes d'algues.

5. définir le sous-échantillonnage surfacique le plus efficace possible de la masse d'eau Grandcamp-Maisy (FRHC10) dans un but d'optimisation des coûts du suivi par télédétection.

La masse d'eau côtière FRHC10 (Baie des Veys) s'étend sur 118 km² dont 16 km² de zone intertidale (13 %) comprenant une zone rocheuse d'environ 6 km² située au niveau de Grandcamp-Maisy. Actuellement, la définition de la qualité de l'eau pour ce secteur, à partir de l'indicateur macroalgues intertidales, est basé sur un échantillonnage de 27 quadrats soit environ 3m². Les coûts des images hyperspectrales aéroportées ou multispectrales par drone pourraient être diminués en réduisant le temps d'acquisition. Pour cela, une altitude de vol plus élevée peut-être choisie afin de définir une résolution spatiale moindre (exemple : 1m au lieu de 60cm pour les images aéroportées hyperspectrales et 10cm au lieu de 1cm pour les images drone) tout en garantissant la possibilité de discriminer les classes d'algues.

Enfin, cette étude a montré l'importance des données de télédétection pour le suivi sectoriel des algues sur l'estran et notamment des images hyperspectrales pour la distinction des classes d'algues rouges, vertes et brunes. Ces technologies pourraient donc être combinées entre elles et utilisées comme des outils complémentaires aux suivis stationnels des macroalgues intertidales dans le cadre de la DCE. Ces données peuvent également être mutualisées pour d'autres applications, notamment dans le cadre de la DCE, ou des directives habitats (DHFF ou DCSMM) du secteur côtier.

Mots clés :

Télédétection hyperspectrale, Drone, Indicateur DCE, EQR, Macroalgues intertidales, Fucales.