

Proposition de sujet de thèse : **Apport de l'imagerie hyperspectrale pour la caractérisation optique des eaux industrielles**

Lieu de la thèse : Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA/Bruyères-le-Châtel)

Financement : bourse CEA

Directeur de thèse : Rodolphe Marion (CEA)

Encadrement : Laure Roupioz (ONERA), Xavier Briottet (ONERA), Malik Chami (LATMOS)

Contact : Rodolphe Marion (rodolphe.marion@cea.fr, 01 69 26 48 24)

Démarrage : octobre 2020

Sujet de la thèse :

L'eau, sous sa forme liquide, recouvre plus de 70% de la surface terrestre et est indispensable à la vie. Son importance dans l'économie ainsi que son inégale répartition sur Terre en font une ressource naturelle dont la gestion est l'objet de forts enjeux géopolitiques, environnementaux et sociétaux.

Les trois principales sources de pollution de l'eau sont les rejets urbains, les rejets agricoles et les rejets industriels dans l'environnement. Ces derniers, au niveau national, représentent 15% des rejets. Les effluents liquides y sont très variés (matières organiques, matières en suspension, azote et phosphore, métaux, pesticides, substances chimiques comme les hydrocarbures et les solvants chlorés, etc.) car ils dépendent de la manière dont l'eau est utilisée dans le procédé industriel. Par exemple, l'industrie nucléaire utilise entre autres des procédés acides pour les étapes de concentration et de conversion du minerai d'uranium nécessitant des traitements avancés des eaux résiduaires. Il existe ainsi différents modes de traitement des effluents et de nombreux sites industriels possèdent des bassins et des lagunes pour la gestion de leurs eaux de procédés.

S'il existe aujourd'hui des outils pour la mesure et le suivi de pollutions ou l'étude de risques à l'échelle d'un site particulier (mesures réalisées en sortie d'usine, échantillonnage dans l'environnement proche, etc.), les pouvoirs publics se trouvent souvent démunis lorsqu'il s'agit d'aborder ces problèmes à une échelle régionale ou semi-régionale. Dans ce contexte, la télédétection hyperspectrale (pour en savoir plus, voir <http://www.sfpt.fr/hyperspectral>) dans le domaine visible/proche-infrarouge fait partie des outils novateurs pouvant contribuer à la détection et la caractérisation des pollutions des eaux d'origine industrielle.

L'objectif de la thèse est donc de développer une méthode pour la détection et la caractérisation des eaux industrielles à partir d'imagerie hyperspectrale aéroportée et satellitaire. Il peut s'agir d'eaux rejetées dans le milieu naturel ou bien stockées dans des bassins et lagunes sur le site industriel lui-même. Les travaux s'articuleront autour des quatre axes suivants :

1. Etat de l'art sur les eaux industrielles

Il s'agira, dans un premier temps, d'identifier les principales classes d'eaux industrielles et leurs propriétés optiques (réflectance, coefficient d'absorption et de diffusion). La littérature traitant essentiellement de la composition des eaux naturelles, peu de travaux ont été menés sur les constituants des eaux industrielles polluées, les rares études étant souvent très spécifiques à un site et difficilement applicables de manière générique. Les informations provenant de la littérature seront donc complétées par des mesures réalisées en laboratoire ou directement sur les sites industriels d'intérêt. Une campagne aéroportée permettra également d'acquérir des images hyperspectrales au-dessus de ces sites permettant ainsi de parfaire les connaissances. Ces images serviront aussi pour la validation de la méthode développée.

A l'issue de cette première étape, nous disposerons d'une base de données spectrale et chimique pour différentes classes d'eaux industrielles, construite à partir des données de l'état de l'art et des mesures collectées. Parallèlement, une synthèse bibliographique des différentes méthodes permettant de caractériser les eaux naturelles et

industrielles sera menée afin de déterminer les approches méthodologiques les plus adaptées au problème posé.

2. Comportement radiatif des eaux industrielles

Cette deuxième étape vise à comprendre le comportement radiatif des eaux industrielles. Pour cela, nous utiliserons la base de données constituée à l'étape précédente en entrée du code de transfert radiatif OSOAA (*Ocean Successive Orders with Atmosphere – Advanced* [1]). Ce code sera adapté afin de modéliser différents types d'eaux polluées et ainsi simuler la luminance mesurée au niveau du senseur. Après une étape de validation, les simulations permettront de comprendre l'impact des différents polluants sur la signature spectrale de ces eaux mais aussi de définir des seuils de détection par polluant et de réaliser des études de sensibilité. Différents cas seront analysés : rejets liquides, solides ou boues de procédés, dans des bassins de lagunage ou de décantation, eau de pluie dans des puits de carrières et de mines. A l'issue de cette étape, deux cas type de pollution seront retenus pour la mise en place de la méthode de caractérisation des polluants.

3. Détection, caractérisation et quantification des propriétés bio-optiques des eaux industrielles

Dans un troisième temps, le problème inverse sera traité. Tout d'abord, une méthode de détection avec et sans connaissance a priori du polluant sera mise en œuvre. Dans le cas où le polluant n'est pas connu, une étape de caractérisation sera réalisée. Elle sera suivie par le développement d'une méthode de quantification des polluants présents en s'appuyant sur le modèle OSOAA afin d'estimer les concentrations et les propriétés bio-optiques de chacun des constituants et de fournir une cartographie à l'échelle du site industriel étudié.

4. Validation, analyse d'images

Enfin, les méthodes développées seront évaluées sur deux jeux d'images hyperspectrales aéroportées (correspondant aux deux cas type de pollution retenus) acquises sur des sites, associés à des vérités terrains disponibles.

Référence :

[1] Chami M, Lafrance B, Fougny B, Chowdhary J, Hamel T, Waquet F (2015), « OSOAA : a vector radiative transfer model of coupled atmosphere-ocean system for a rough sea surface application to the estimates of the directional variations of the water leaving reflectance to better process multi-angular satellite sensors data over the ocean », *Opt Express* 23 : 27829-27852, doi : 10.1364/OE.23.027829