Système de suivi et d'information concernant le risque associé aux proliférations de phytoplancton

Frédéric Soulignac[1], Orlane Anneville[1], Jonathan Derot[2], Thibault Malou[1], Alexandre Mayer[1], Sayoob Vadakke-Chanat[1], Stéphan Jacquet[1]

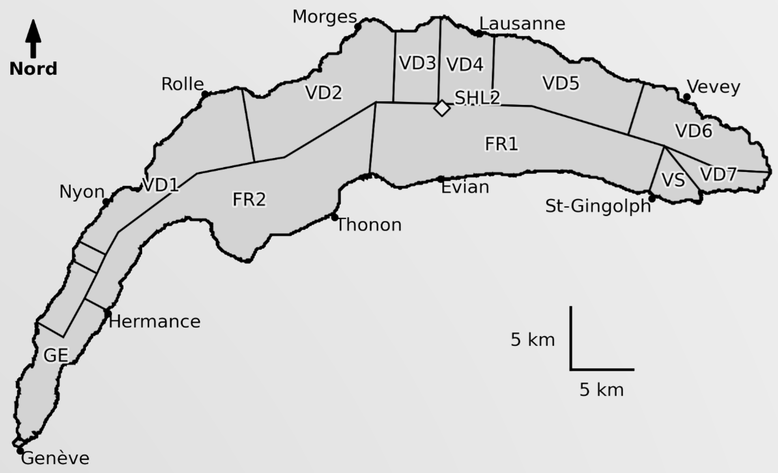
[1] UMR CARRTEL, INRAE, Université Savoie-Mont Blanc, Thonon-les-Bains, France

[2] Advanced Institute for Marine Ecosystem Change (WPI-AIMEC), Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Yokohama, Japan

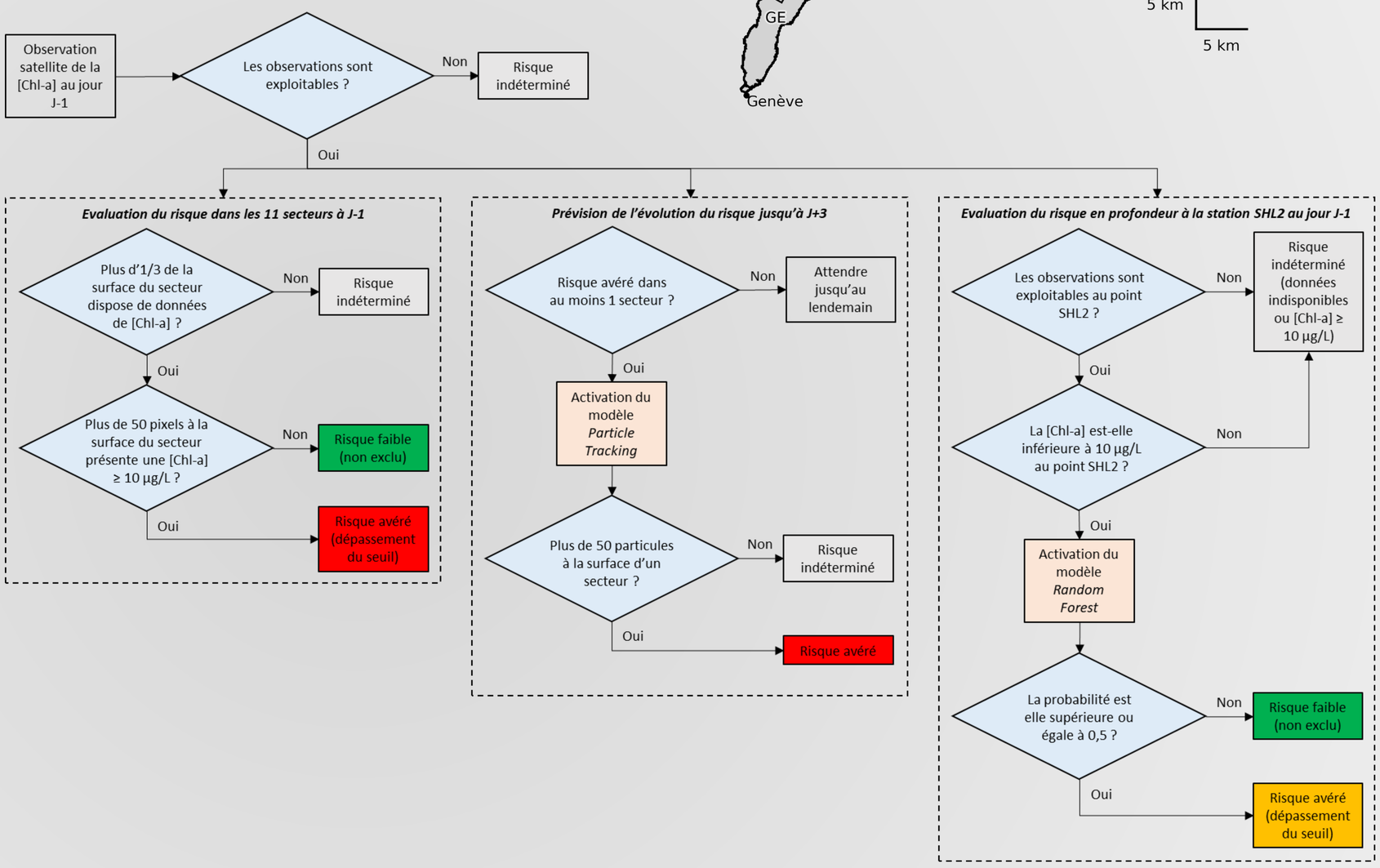
Les proliférations de phytoplancton représentent un enjeu majeur pour les lacs en raison de leurs impacts sur la qualité de l'eau et les usages associés. Pour les grands lacs, il serait intéressant de proposer aux gestionnaires une surveillance qui reposerait sur la télédétection satellitaire de la concentration en chlorophylle-a (Chl-a), couplée à des modèles hydrodynamiques 3D permettant de prévoir les déplacements des masses d'eau riches en phytoplancton. Cependant, dans les lacs profonds comme le Léman, certaines proliférations se développent à des profondeurs non détectables par satellite. Les méthodes statistiques et de machine learning sont pertinentes pour améliorer leur détection et leur prédiction. Cette étude développe une approche intégrée combinant observations satellitaires, modélisation hydrodynamique 3D et machine learning afin d'améliorer le suivi des proliférations de phytoplancton.

Organigramme du système

Le Léman constitue un cas d'étude pertinent. Malgré sa réoligotrophisation, ce grand lac profond franco-suisse (580 km² ; profondeur max. 309 m) peut connaître des blooms marqués, parfois au-delà des seuils de vigilance de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Le Léman est divisé en **11 secteurs administratifs**. La partie suisse couvre environ 60 % de la surface totale (GE, VD1 à VD7 et VS), tandis que la partie française représente les 40 % restants (FR1 et FR2). À l'échelle mondiale, l'OMS considère qu'une concentration en Chl-a supérieure à 10 µg/L augmente le risque de dominance des cyanobactéries et peut indiquer des conditions préoccupantes pour l'alimentation en eau potable, la pêche et les activités récréatives. Même si, dans le Léman, ce seuil n'entraîne généralement pas de dominance des cyanobactéries, il demeure un indicateur pertinent pour identifier les proliférations de phytoplancton.



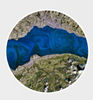
1. Une prolifération (ou bloom) est considérée comme présente dans un secteur donné lorsque plus de 50 pixels (environ 4,5 km²) dépassent le seuil de 10 µg Chl-a/L.
2. Lorsqu'une prolifération est détectée par satellite, un module spécifique de prévision (J+3) basé sur un modèle de suivi de particules est activé pour anticiper le déplacement des masses d'eau où la concentration en Chl-a dépasse 10 µg/L, permettant ainsi d'anticiper la gestion des proliférations.
3. Un module spécifique de détection des blooms profonds est également utilisé pour identifier les dépassements du seuil de 10 µg/L aux profondeurs inaccessibles par satellite. Il repose sur un modèle de type Random Forest entraîné à partir d'un jeu de données de mesures in situ sur dix ans à la station SHL2.



Précision du système

Le modèle de suivi de particules reproduit correctement le déplacement du phytoplancton (ou fortes concentrations en Chl-a), avec des erreurs moyennes inférieures à 1 km pour des prévisions de 1 à 3 jours. Les performances diminuent toutefois lors des phases d'initiation et de décroissance des blooms, ainsi qu'avec l'augmentation de l'horizon de prévision. Le modèle Random Forest utilisé pour détecter les blooms profonds non visibles par satellite présente également de bonnes performances, avec 87,5 % de détection sur les données d'entraînement et 78 % sur les données de test après optimisation du seuil.

Données utilisées



Données satellitaires : Observations Sentinel-3 de la concentration en Chl-a (Alplakes) et de la transparence de l'eau (profondeur de Secchi), utilisées pour détecter les blooms dans la couche d'eau visible par le satellite.



Données hydrodynamiques : Sorties du modèle Delft3D-FLOW (Alplakes), fournissant les courants à haute résolution spatiale et temporelle, utilisées pour simuler le déplacement des masses d'eau où la concentration en Chl-a dépasse 10 µg/L.



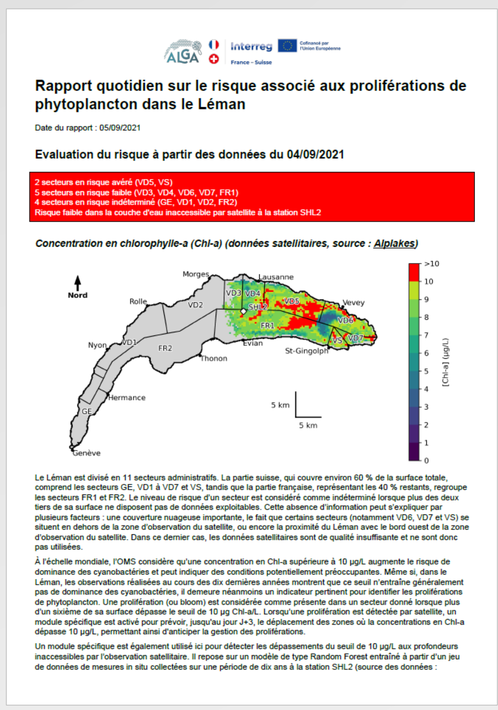
Données in situ : Profils verticaux de température et de concentration en Chl-a issus de deux stations de suivi, utilisés pour caractériser la structure thermique de la colonne d'eau et construire le modèle Random Forest utilisé pour détecter les blooms profonds.

Conclusion et perspectives

Le système développé permet un suivi fiable des dynamiques spatio-temporelles des blooms phytoplanctoniques dans le Léman grâce à trois approches complémentaires : suivi satellitaire de la concentration en Chl-a ; prévision du déplacement des blooms par modélisation hydrodynamique ; détection des blooms profonds via le machine learning. Cet outil de surveillance et de prévision sera transposé à d'autres lacs de la plateforme Alplakes dans le cadre du projet DiMark (https://www.alpine-space.eu/project/dimark)

Communication/rapports quotidiens

Une liste de diffusion regroupant plus de 300 adresses électroniques a été mise en place (institutions, opérateurs, laboratoires de recherche, entreprises privées, etc.). Chaque matin, les destinataires reçoivent un rapport synthétique quotidien présentant les conditions observées ainsi que le niveau de risque associé aux proliférations de phytoplancton. Un guide de lecture accompagne ces rapports afin d'en faciliter l'interprétation. Ce dispositif vise à fournir une information régulière, fiable et directement exploitable par les acteurs impliqués dans la gestion, la surveillance et les différents usages du lac. Site Internet du projet Interreg ALGA destiné au grand public: https://alga.hub.inrae.fr



Rapport quotidien sur le risque associé aux proliférations de phytoplancton dans le Léman

Date du rapport : 05/09/2021

Evaluation du risque à partir des données du 04/09/2021

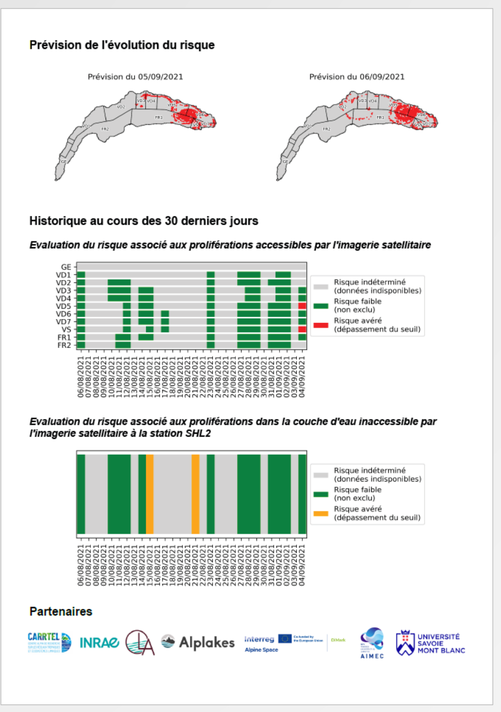
2 secteurs en risque avéré (VD5, VS)
5 secteurs en risque faible (VD3, VD4, VD6, VD7, FR1)
4 secteurs en risque indéterminé (GE, VD1, VD2, FR2)
Risque faible dans la couche d'eau inaccessible par satellite à la station SHL2

Concentration en chlorophylle-a (Chl-a) (données satellitaires, source : Alplakes)

Le Léman est divisé en 11 secteurs administratifs. La partie suisse, qui couvre environ 60 % de la surface totale, comprend les secteurs GE, VD1 à VD7 et VS, tandis que la partie française, représentant les 40 % restants, regroupe les secteurs FR1 et FR2. Le niveau de risque d'un secteur est considéré comme indéterminé lorsque plus des deux tiers de sa surface ne disposent pas de données exploitables. Cette absence d'information peut s'expliquer par plusieurs facteurs : une couverture nuageuse importante, le fait que certains secteurs (notamment VD6, VD7 et VS) se situent en dehors de la zone d'observation du satellite, ou encore la proximité du Léman avec le bord ouest de la zone d'observation du satellite. Dans ce dernier cas, les données satellitaires sont de qualité insuffisante et ne sont donc pas utilisées.

À l'échelle mondiale, l'OMS considère qu'une concentration en Chl-a supérieure à 10 µg/L augmente le risque de dominance des cyanobactéries et peut indiquer des conditions potentiellement préoccupantes. Même si, dans le Léman, les observations réalisées au cours des dix dernières années montrent que ce seuil n'entraîne généralement pas de dominance des cyanobactéries, il demeure néanmoins un indicateur pertinent pour identifier les proliférations de phytoplancton. Une prolifération (ou bloom) est considérée comme présente dans un secteur donné lorsque plus d'un sixième de sa surface dépasse le seuil de 10 µg Chl-a/L. Lorsqu'une prolifération est détectée par satellite, un module spécifique est activé pour prévoir, jusqu'au jour J+3, le déplacement des zones où la concentrations en Chl-a dépasse 10 µg/L, permettant ainsi d'anticiper la gestion des proliférations.

Un module spécifique est également utilisé ici pour détecter les dépassements du seuil de 10 µg/L aux profondeurs inaccessibles par l'observation satellitaire. Il repose sur un modèle de type Random Forest entraîné à partir d'un jeu de données de mesures in situ collectées sur une période de dix ans à la station SHL2 (source des données :



Prévision de l'évolution du risque

Prévision du 05/09/2021

Prévision du 06/09/2021

Historique au cours des 30 derniers jours

Evaluation du risque associé aux proliférations accessibles par l'imagerie satellitaire

Evaluation du risque associé aux proliférations dans la couche d'eau inaccessible par l'imagerie satellitaire à la station SHL2

Risque indéterminé (données indisponibles)
Risque faible (non exclu)
Risque avéré (dépassement du seuil)

Partenaires

Le projet ALGA fait intervenir de nombreux partenaires, pour un coût total d'environ 1 million d'euros
https://www.interreg-francesuisse.eu/beneficiaire/alga/

Contact du chef de file français du projet : Stéphan JACQUET (stephan.jacquet@inrae.fr)