

# Calibration et validation d'un algorithme dédié Sentinel-2 par imagerie hyperspectrale (drone). Application pour le suivi des cyanobactéries et FEA dans les lacs du Québec méridional (Canada)



Anas El Alem<sup>1</sup>, Karem Chokmani<sup>1</sup>, Jean-Pierre Dedieu<sup>2</sup>, Isabelle Laurion<sup>1</sup>, Julie Camy<sup>3</sup>, Mariana Trindade<sup>3</sup>, Christian Prevost<sup>4</sup>, Lyse Champagne<sup>5</sup> (\*)



1. Institut National de la Recherche Scientifique , INRS-ETE, Québec, Canada
2. Université Grenoble Alpes, CNRS/IGE, F-38000 Grenoble, France
3. Groupe Hémisphères, Montréal, Canada
4. Ressources Naturelles Canada
5. Agence Spatiale Canadienne

## CONTEXTE

- Au Québec, près de 500 plans d'eau ont été touchés par une cyanobactérie (fleur d'eau d'algues et/ou de cyanobactéries (FEA) de densité supérieure à 20,000 cellules mL<sup>-1</sup>) entre 2004 et 2015.
- Les Méthodes standards de suivi des FEA sont couteuses et sont limités dans le temps et l'espace.
- Le suivi des FEA par télédétection est possible via l'activité bio-optique de la chlorophylle-a (Chl-a), pigment principal des FEA.
- Grande correlation entre la présence de la Chl-a et des cyanobactéries, particulièrement en cas de forte concentration.

## CORRECTIONS ATMOSPHERIQUES

Un problème s'est posé pour les images S2-A corrigées niveau L2A avec la chaîne de traitement Maja. Les corrections atmosphériques sont excellentes pour les terres émergées, mais malheureusement peu efficaces sur les surfaces en eau, des valeurs négatives apparaissant dans la plupart des bandes spectrales du visible (Fig. 2). Il a donc fallu modifier le protocole initial et appliquer un autre type de correction mieux adapté aux surfaces en eau, à savoir une méthode modifiée du "Cost" de Chavez, 1996.

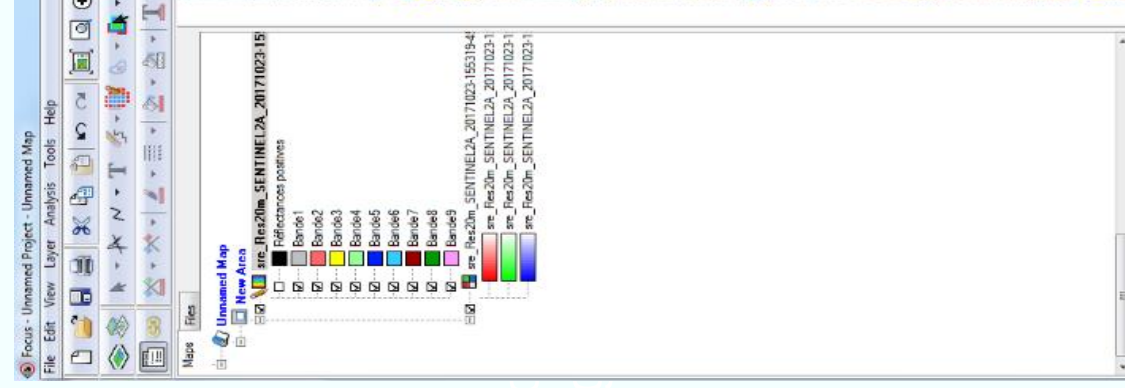


Figure 2: Distribution des pixels avec une réflectance négative pour l'eau sur l'ensemble des bandes spectrales. Exemple d'une image Sentinel-2 produite par la correction Maja. La couleur indique la bande d'origine des pixel problématiques. Le problème se pose en présence de nuages. Région de la ville de Québec (tuile T18 TYT du 23 octobre 2017).

### 3. Correction atmosphérique modifiée (COST<sub>Mod</sub>) pour les images du capteur Sentinel-2

$$Ref = \frac{\pi \times \left( L_{\lambda} - \left[ 0.0023 \times \left( \frac{L(\lambda)_{PN}}{L(bleu)_{PN}} \right) \right] \right) \times d^2}{TAU_{\lambda} \times (ESUN_{\lambda} \times COS\theta_{\lambda} \times TAU_z + Edown)}$$

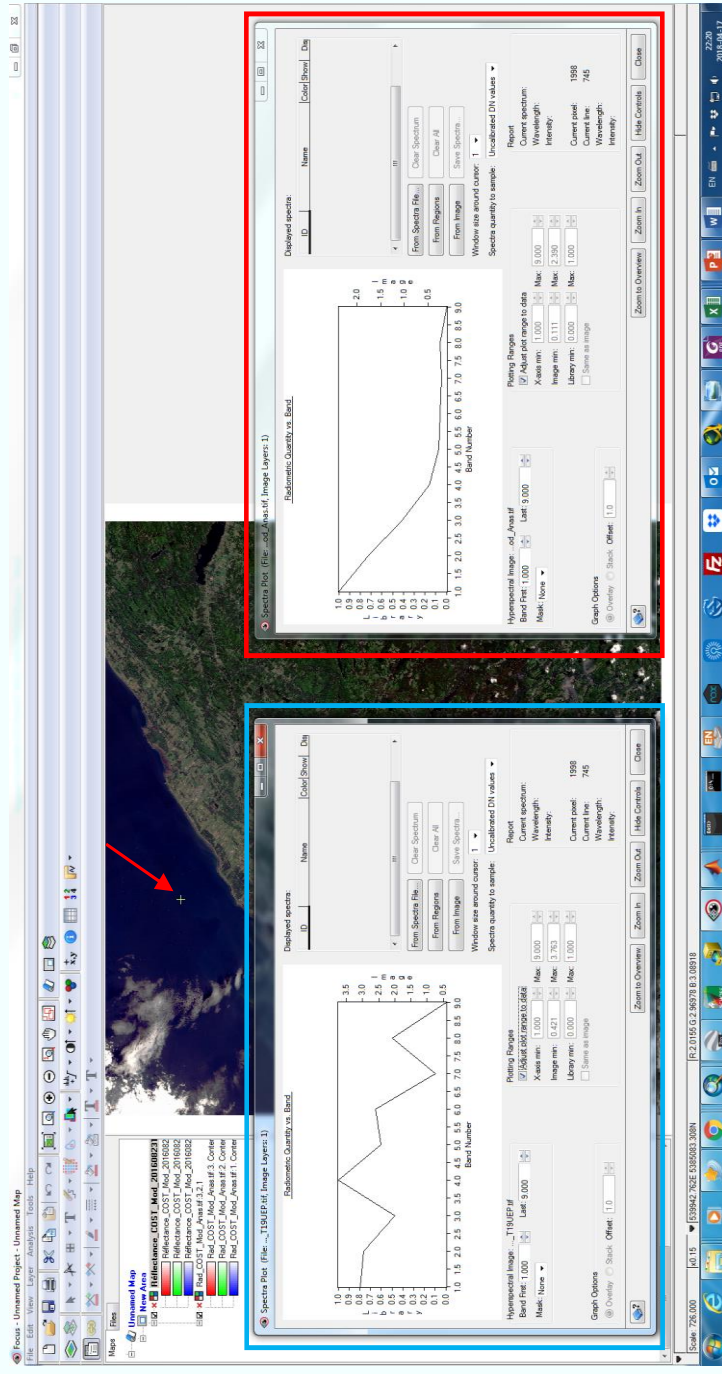


Figure 4 : Comparaison du comportement spectral d'un pixel d'eau après correction du L\_haze par : 1) sélection indépendante des luminances du pixel noir (cadre bleu) et 2) utilisation des coefficients de correction relative de la luminance du corps noir (cadre rouge).

## CALIBRATION DU MODELE

- Basée sur les méthodes d'ensembles MBME qui s'effectuee sur deux étapes:
1. Calibration d'un classificateur d'ensemble via la technique du « bootstrap » couplée à la classification par CART (Classification and Regression Tree).
  2. Calibration d'un ensemble d'estimateurs spécifiques (experts) pour les deux classes d'intérêt (oligotrophe et méso-eutrophe)

## VALIDATION DU MBME

1. Croisée avec la technique du «leave one out cross validation» sur les données de la calibration.
2. Avec données indépendantes, collectées par le réseau de surveillance volontaire (RSVL) des lacs du Québec sur les estimés en Chl-a issues des images Sentinel-2

## REFERENCES

El-Alem, A., K. Chokmani, H. Agili, A. Venkatesan, J. Poulin, M. Tanguy, I. Laurion and J.-P. Dedieu (2018). "Utilisation de l'imagerie hyperspectrale embarquée sur drone pour la calibration et la validation d'un algorithme basé sur l'imagerie Sentinel-2 pour le suivi des fleurs d'eau d'algues et/ou de cyanobactéries dans les eaux douces du Québec méridional." Rapport de recherche (R1744). INRS, Centre Eau Terre Environnement, Québec.

Ce projet CyanoSCAN a été financé par l'Agence Spatiale Canadienne et les images Sentinel-2 niveau L2A ont été financées par le Programme THEIA-CNES, AAP 2015.

(\*)Ont également participé au projet : pour l'INRS-ETE Jimmy Poulin, Hachem Agili, Aarthi Venkatesan, Marion Tanguy ; pour le Groupe Hémisphère Christian Corbel.

1. Institut National de la Recherche Scientifique , INRS-ETE, Québec, Canada

2. Université Grenoble Alpes, CNRS/IGE, F-38000 Grenoble, France

3. Groupe Hémisphères, Montréal, Canada

4. Ressources Naturelles Canada

5. Agence Spatiale Canadienne

## OBJECTIFS

- Développer un algorithme d'estimation de la Chl-a à partir de l'imagerie Sentinel-2 simulée par l'imagerie hyperspectrale acquise via un Système Aérien Télé-piloté (SAT)
  - Proposer une approche de suivi des fleurs d'eau d'algues (FEA) dans les eaux douces du Québec méridional exploitant l'imagerie Sentinel-2 A&B
- ## METHODES
- Tester le potentiel des algorithmes de simulation et d'agrégation à produire des images Sentinel-2 à 20 mètres de résolution spatiale de qualité pour des fins de calibration;
  - Calibrer et valider un modèle basé sur la méthode d'ensemble (MBME) d'estimation de la concentration en Chl-a en utilisant les données Sentinel-2 simulées via un SAT;
  - Développer une chaîne d'automatisation, sous forme d'interface graphique, des procédures de traitements des images Sentinel-2A et 2B.

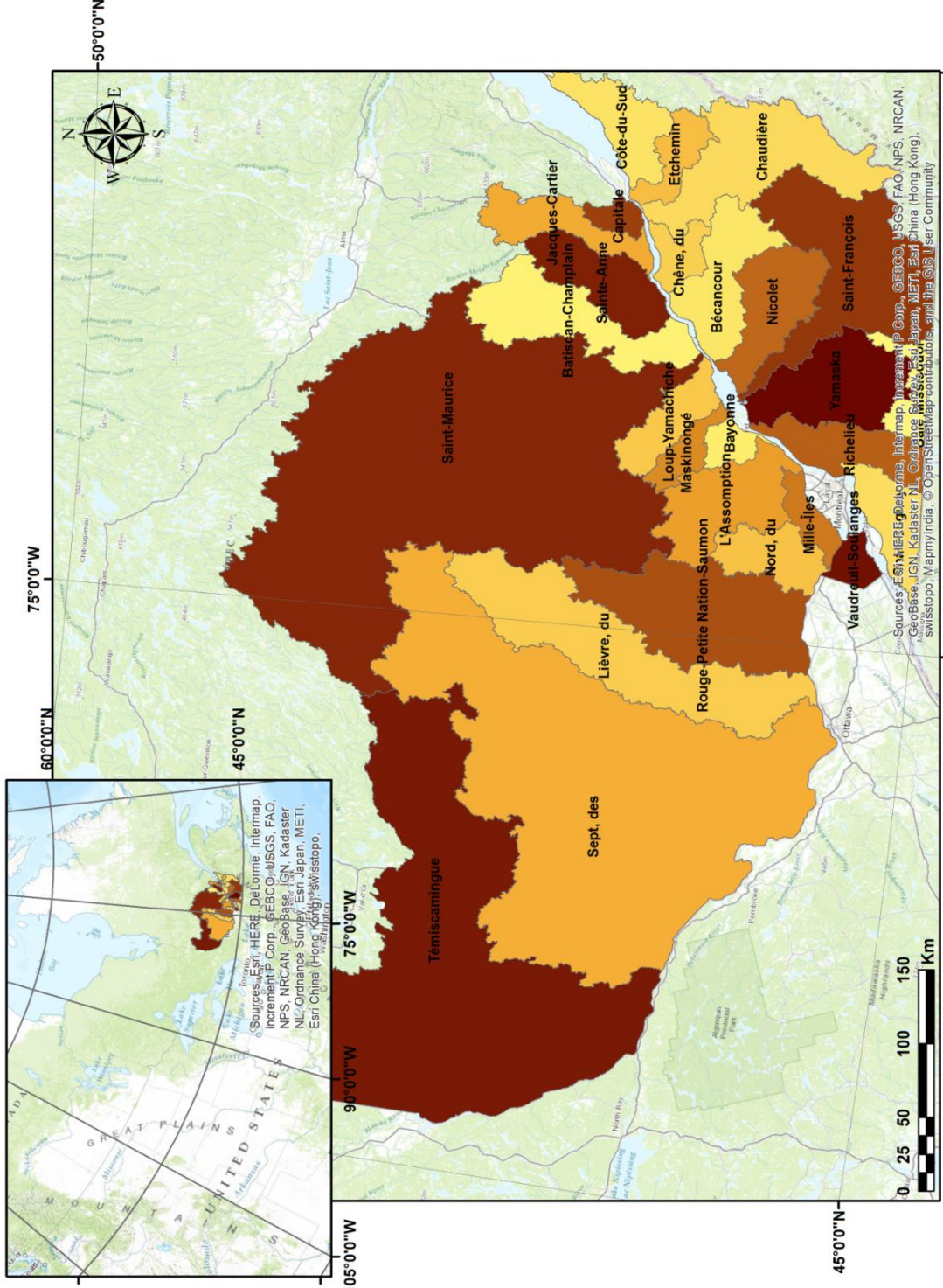


Figure 1 : Zone d'étude du Projet SCAN-Theia

(24 tuiles Sentinel-2A utilisées)

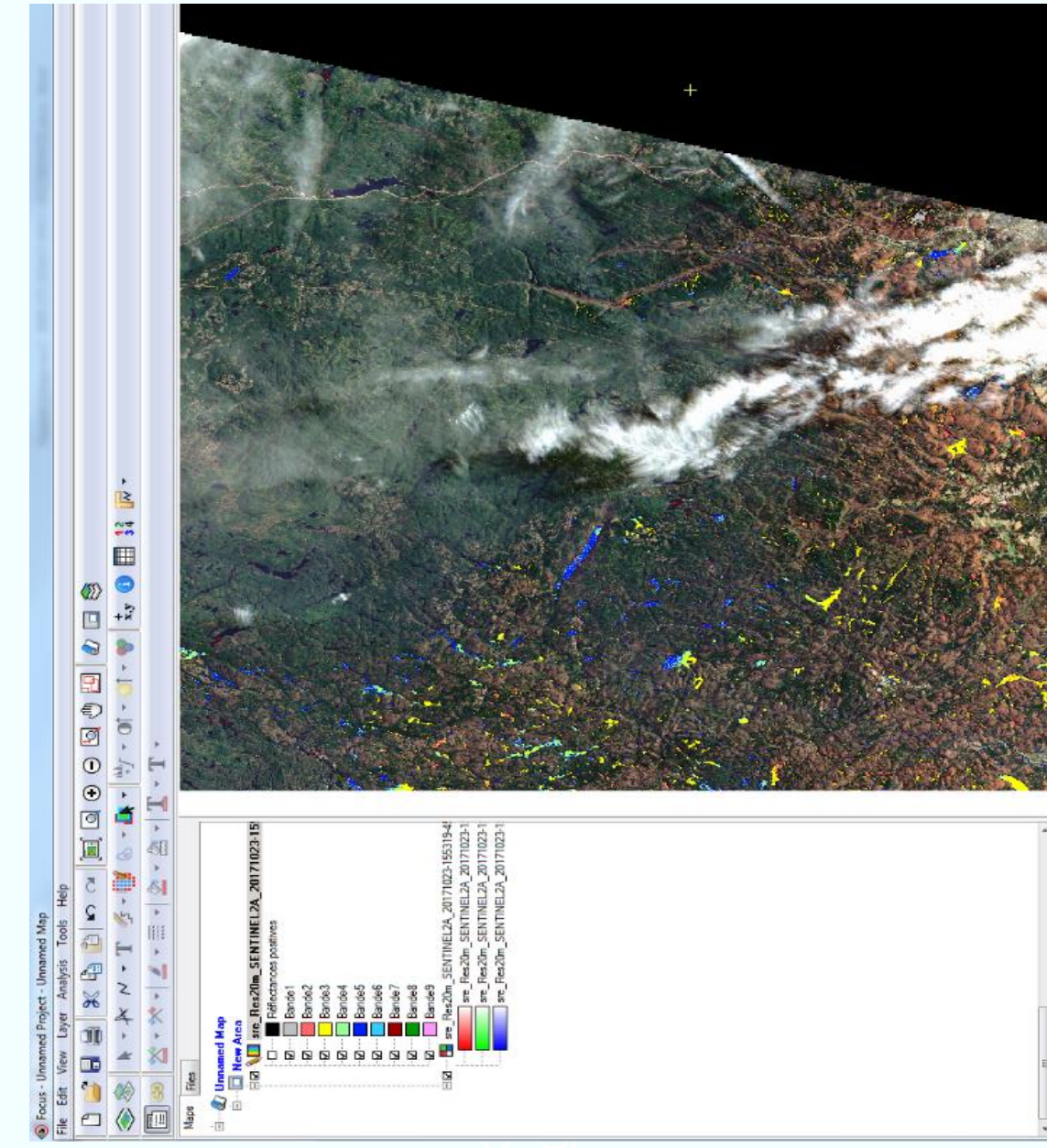


Figure 3 : Détection des surfaces en eau. 1) produit L2A Maja, 2) produit COST modifié INRS.

- a. Valeurs négatives de reflectances sur l'eau en présence des nuages.  
Solution : masque Eau-Terre-Nuage (E.T.N.)
- b. Altération du comportement spectral des pixels de l'eau.  
**Solution : La valeur de la L\_haze estimée à partir de coefficients de correction obtenus par la moyenne du 5<sup>ème</sup> percentile de l'histogramme de l'image tout en considérant la luminance de la bande du bleu comme référence (L\_haze = 0.0023 \* Coef\_λ).**  
**Avec:**

0.0023 est la luminance de référence du bleu (L<sub>Ref</sub>) issu du Lac Magog;  
Coef<sub>λ</sub> est le coefficient de correction de la luminance de la bande λ issu du pixel noir (Coef =  $\frac{L(\lambda)_{PN}}{L(bleu)_{PN}}$ ), où PN fait référence au pixel noir.

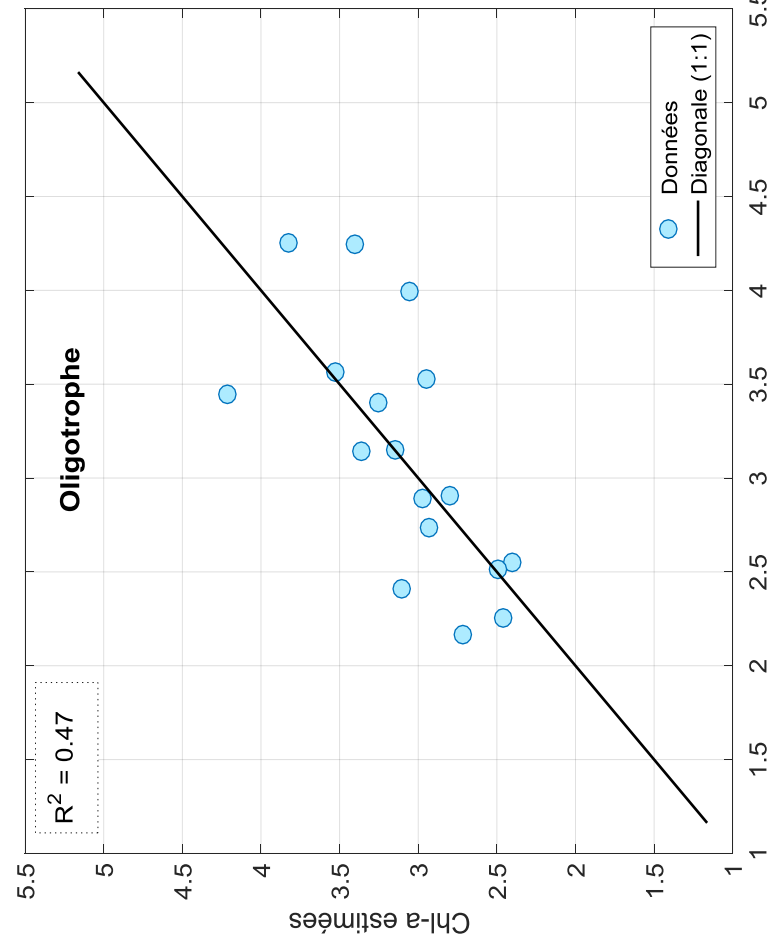


Figure 6 : Résultats de la calibration avec les données méso-eutrophes

$$Ind_1 = \frac{Band\ 3 - band\ 7}{Band\ 3 + band\ 7}$$
$$Ind_2 = \frac{Band\ 3 + band\ 8}{Band\ 5 - band\ 2 + Band\ 5 + band\ 4}$$
$$Ind_3 = \frac{Band\ 5 - band\ 4}{Band\ 5 + band\ 4} - \frac{Band\ 2 - band\ 4}{Band\ 2 + band\ 4}$$

$$[Chl - a]_{Meso-eutrop\ he} = \exp(-2.72 * Ind_1 + 3.39 * Ind_2 + 3.23 * Ind_3 + 2.21)$$

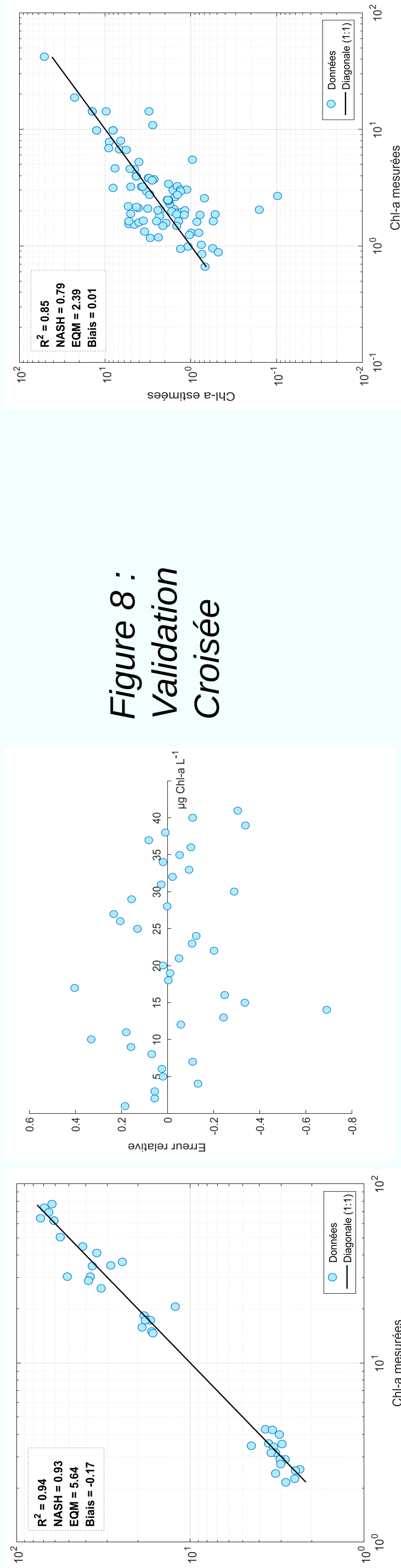


Figure 9 : Validation par les données du RSVL

