arctus.ca

Arctus

Télédétection des environnements aquatiques
& veille environnementale

6 juin 2025

arctus.ca

L’apport des satellites d’Observation de la Terre et de l’IA pour la cartographie des zones côtières

Simon Bélanger, Arctus et UQAR

Avec la collaboration de Yanqun Pan, directeur de la R&D chez Arctus,
Thomas Jaegler, chargé de projet, et
Simon Hurrens, programmeur

Colloque du CIDCO 2025, Trois-Rivières

Contenu de la présentation

1. Bref survol de l'évolution des technologies spatiales appliquées au domaine de l'hydrographie
2. L'émergence de l'intelligence artificielle (IA-*AI*) et son application à la bathymétrie satellitaire
3. *AI4SDB* => la boite à outils d'Arctus pour la bathymétrie satellitaire
4. Sommaire et perspectives

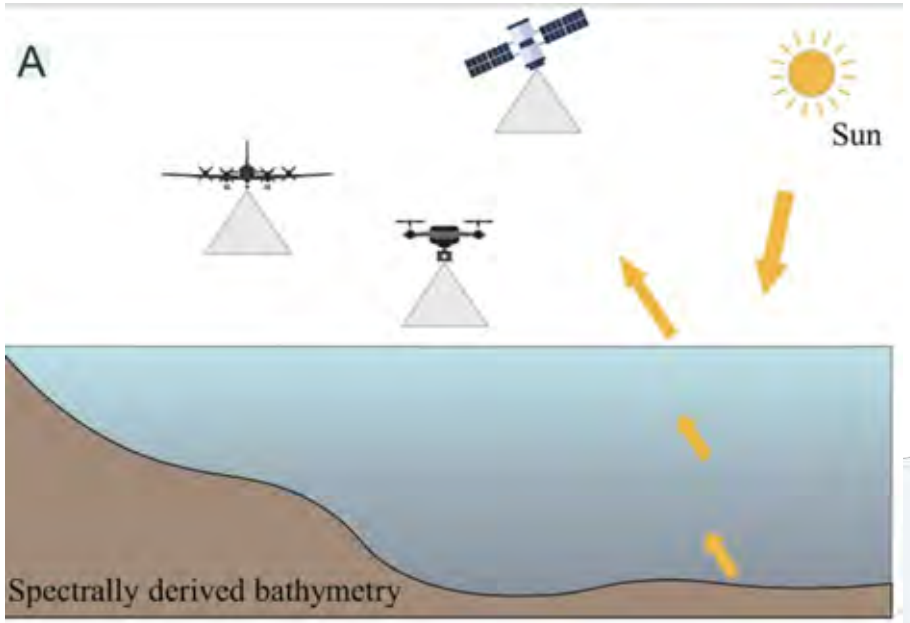
Colloque du CIDCO 2025

L’ère des Technologies d’Observation de la Terre (TOT)

On retrouverait environ 900 satellites pour l’OT en orbite en 2025…

Arctus

Les modes de télédétection pour la bathymétrie



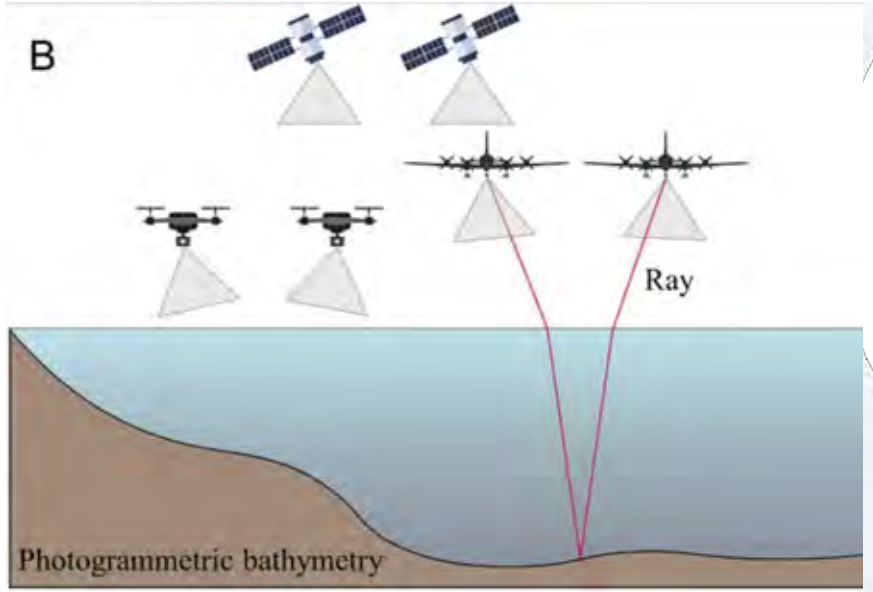
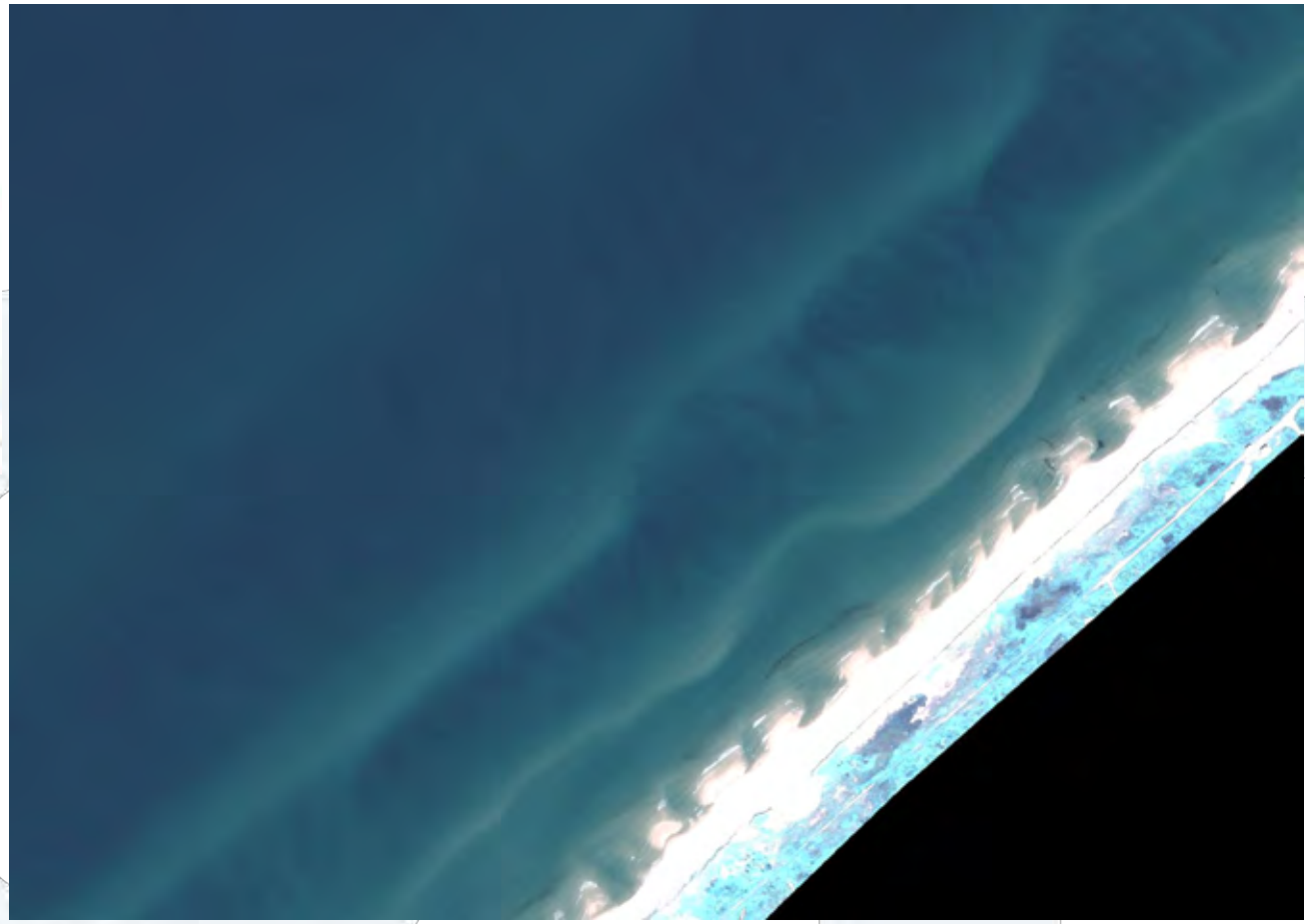
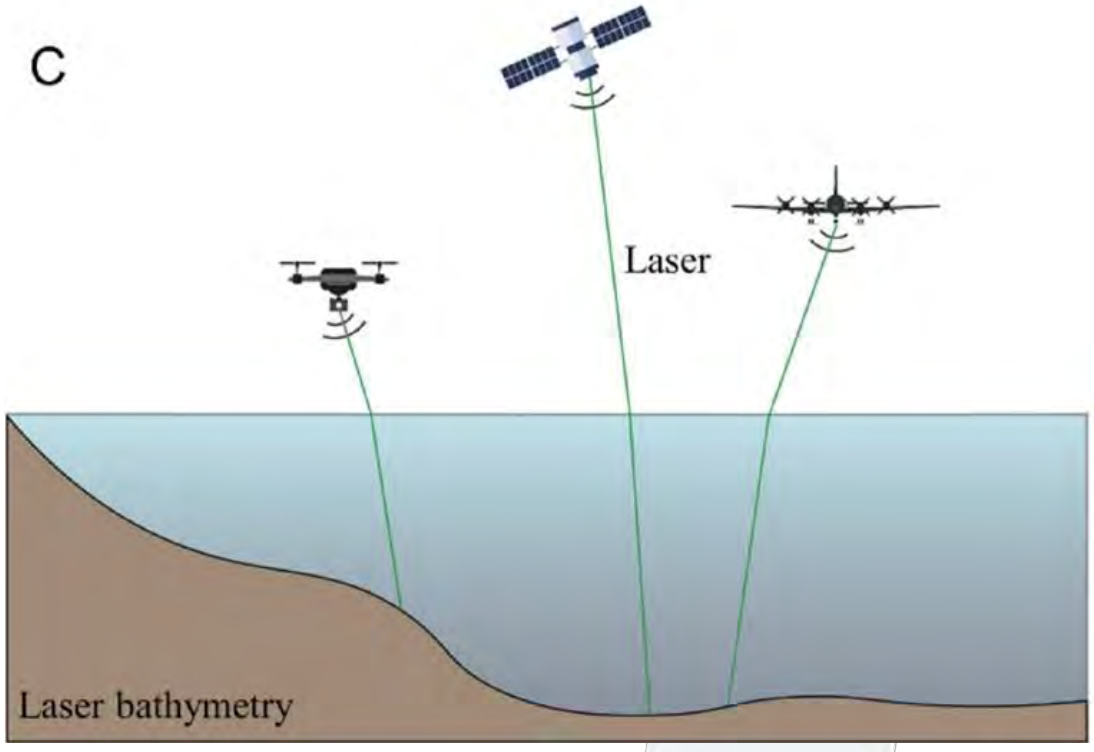


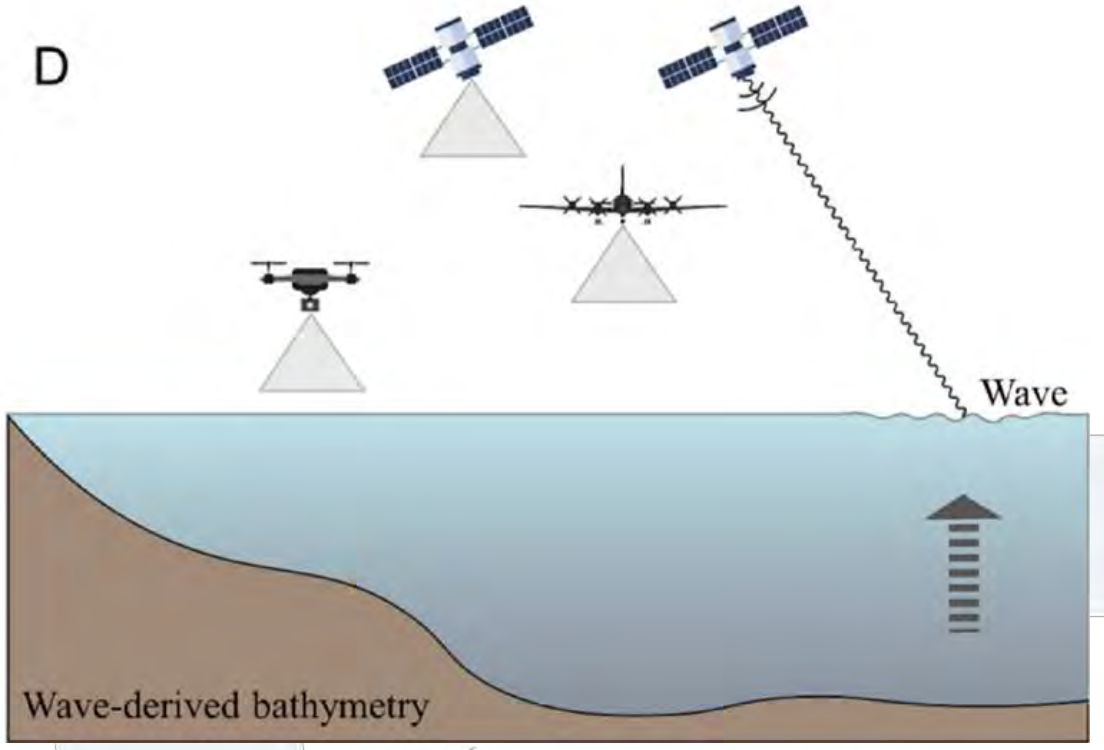
Image Pléiades NEO de Pointe-aux-loups, IDLM, QC



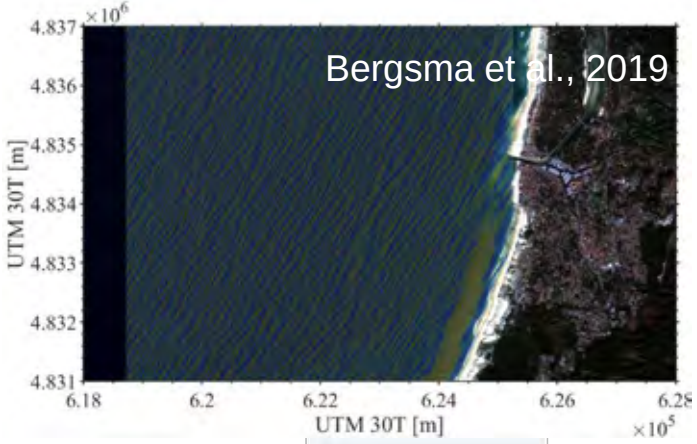
He et al. (2024) Earth-Science Reviews

Les modes de télédétection pour la bathymétrie

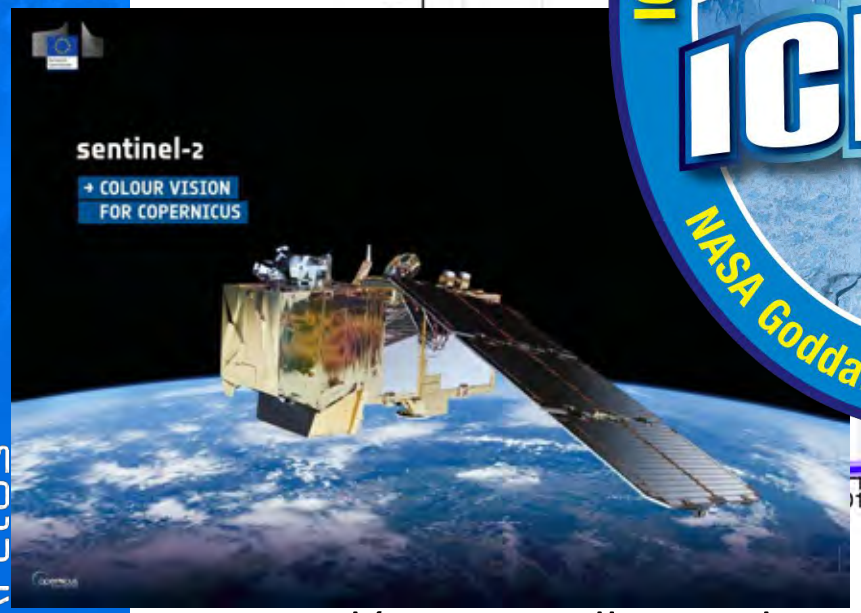




He et al. (2024) Earth-Science Reviews



Bathymétrie satellitaire: une thématique de R&D en pleine effervescence



Mots clés : « Satellite Bathymetry » OR « Satellite-derived Bathymetry » OR « Satellite-derived Bathymetry Sdb » OR « Satellite Derived Bathymetry » (Source : Web of Science, 2025)

La travaux pionniers du Dr. David R. Lyzenga U. Michigan

Reprinted from APPLIED OPTICS, Vol. 17, page 379, February 1, 1978
Copyright 1978 by the Optical Society of America and reprinted by permission of the copyright owner.

Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features

David R. Lyzenga

Ratio processing methods are reviewed, and a new method is proposed for extracting water depth and bottom type information from passive multispectral scanner data. Limitations of each technique are discussed, and an error analysis is performed using an analytical model for the radiance over shallow water.

Méthode de type « multispectrale » empirique

- **1579 citations**

Coefficients empiriques

Hauteur d'eau →

$$Z = a_0 + a_i X_i + a_j X_j$$

$$X_i = \ln[R_w(\lambda_i) - R_\infty(\lambda_i)]$$

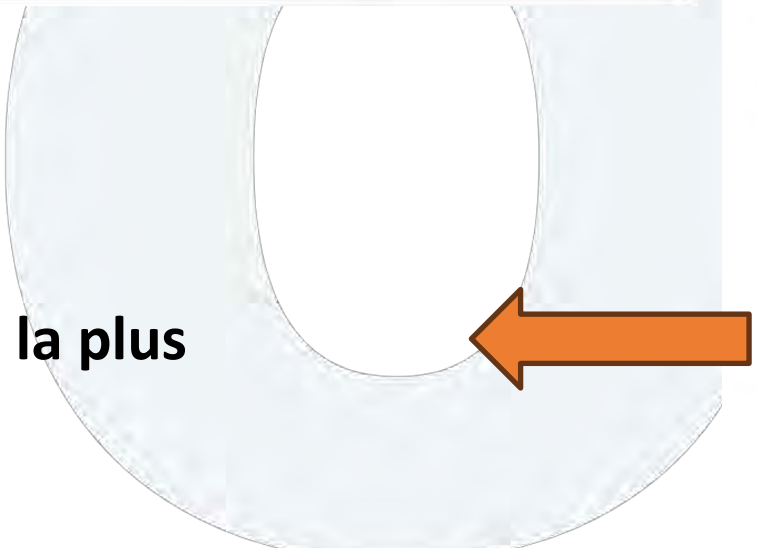
Différence entre la réflectance de l'eau au dessus de la zone d'intérêt et la réflectance dans les eaux profondes (au large)

La méthode « Lyzenga » est toujours utilisée aujourd'hui…

- **Simple à implémenter**
- **Résultats acceptables pour plusieurs applications**

Lyzenga Algorithm for Shallow Water Mapping Using Multispectral Sentinel-2 Imageries in Gili Noko Waters

BIO Web of Conferences **89**, 07006 (2024) https://doi.org/10.1051/bioconf/20248907006
SRCM 2023



TEM Journal. Volume 11, Issue 1, pages 150-158, ISSN 2217-8309, DOI: 10.18421/TEM111-17, February 2022.

The Extraction of Near-Shore Bathymetry using Sentinel-2A Satellite Imagery: Algorithms and Their Modifications

Abdi Sukmono [1], Sentanu Aji [1], Fauzi Janu Amarrohman [1], Nurhadi Bashit [1], Lutfi Rangga Saputra [2]

[1]*Department of Geodetic Engineering, Diponegoro University, Semarang, 50275, Central Java, Indonesia*
[2]*Geospatial Information Agency, Cibinong, West Java, Indonesia*

Abstract **- Satellite-Derived Bathymetry (SDB) is one of the solution technologies for medium-scale bathymetry mapping in large areas. Various basic algorithms for bathymetry extraction with SDB have been developed. However, they require study and modification for different satellite imageries and different regional characteristics. In this study, the researchers explore three basic SDB algorithms which are often used, namely the Lyzenga algorithm, the Stumpf algorithm, and the Van Hengel & Spitzer (VHS) algorithm. These three algorithms are modified using the multilinear regression method with the 'average if' function to find out the in-situ depth using Sentinel-2A satellite imagery. These three algorithms can estimate the depth of shallow water bathymetry effectively up to a depth of 20 m. The accuracy test on the extraction results of the modification of the three basic algorithms proves to be able to increase the accuracy of the SDB depth estimation in the depth range of 0 – 20 m to an accuracy of 1.888 m for the Lyzenga algorithm, 2.093 m for the Stumpf algorithm, and 2.868 m for the VHS algorithm.**

1. Introduction

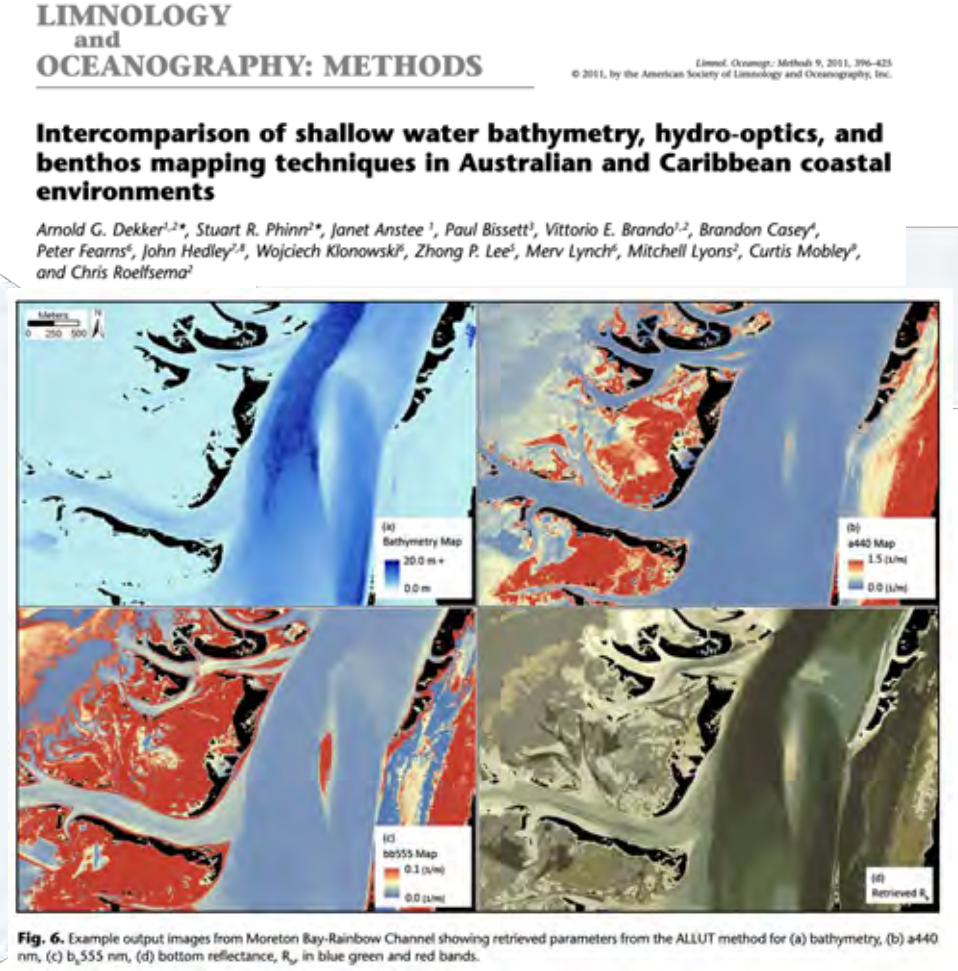
Coastal areas possess a highly important role in economic development for maritime countries. These areas have biological biodiversity and abundant economic activity so that they may serve as an economic booster [1]. The management of activities and development planning in coastal areas needs the support of good spatial data. One of the most important spatial data is near-shore bathymetry data. Bathymetry is important information about water depth and underwater topography [2]. According to Manessa et al., bathymetry data is important for ship traffic, conservation, coastal zoning, and other environmental issues [3].

In general, bathymetry maps are generated by a series of hydrographic surveys starting from tidal surveys to generalization using a single-beam echosounder or multi-beam echosounder mounted on a survey vessel to produce sea depth data. This method can generate very accurate bathymetry estimates, especially in clear seawater [4]. In addition, there is also an Airborne Lidar Bathymetry

…et parfois, encore la plus précise!!!

De la fin des années 90 à ~2010 : approches basées sur la physique *(physics-based)*

- Utilisation des équations de transfert radiatif (HydroLight, etc.) (ZP. Lee; V Brando; C Mobley, J Hedley; etc)
- Tiennent compte de la colonne d'eau (coefficients d'atténuation, réflectance du fond, etc.)
- Inversion multi-spectrale et hyper-spectrale de la réflectance corrigée de l'atmosphère
- Physiquement plus réalistes, mais nécessitent beaucoup de paramètres optiques et des méthodes d'optimisations non-linéaires complexes et ambiguës



LIMNOLOGY and OCEANOGRAPHY: METHODS

Limnol. Oceanogr.: Methods 9, 2011, 396–425
© 2011, by the American Society of Limnology and Oceanography, Inc.

Intercomparison of shallow water bathymetry, hydro-optics, and benthos mapping techniques in Australian and Caribbean coastal environments

Arnold G. Dekker[1,2], Stuart R. Phinn[2]*, Janet Anstee [1], Paul Bissett[3], Vittorio E. Brando[1,2], Brandon Casey[4], Peter Fearns[4], John Hedley[2,5], Wojciech Klonowski[6], Zhong P. Lee[1], Merv Lynch[4], Mitchell Lyons[2], Curtis Mobley[6], and Chris Roelfsema[2]*

Fig. 6. Example output images from Moreton Bay-Rainbow Channel showing retrieved parameters from the ALLUT method for (a) bathymetry, (b) a440 nm, (c) b_b555 nm, (d) bottom reflectance, R_b, in blue green and red bands.

L’émergence de l’intelligence artificielle (IA-AI), et son potentiel pour la bathymétrie satellitaire

Bathymétrie satellitaire

Détection d’eau peu profonde (OSW)

Estimation bathymétrique

Segmentation sémantique

Estimation de la profondeur de champs

Vision par ordinateur
(Computer Vision)

Image naturelle

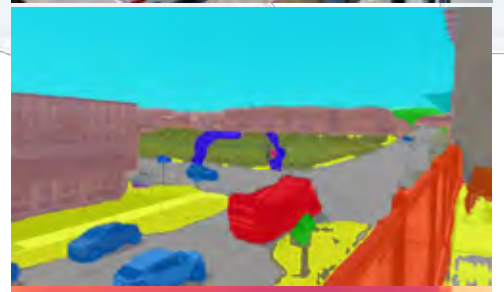
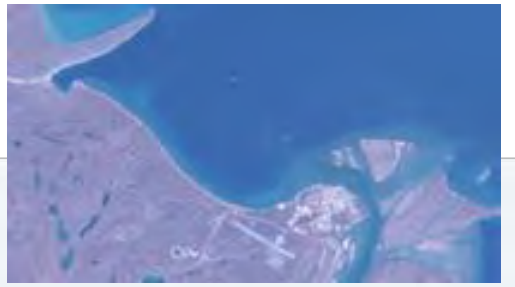
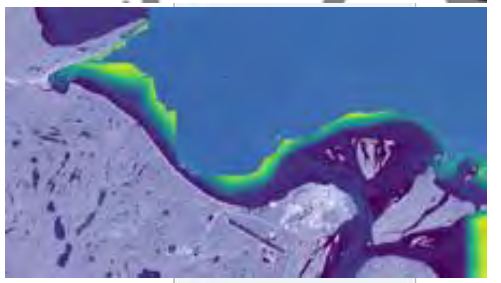


Image satellitaire





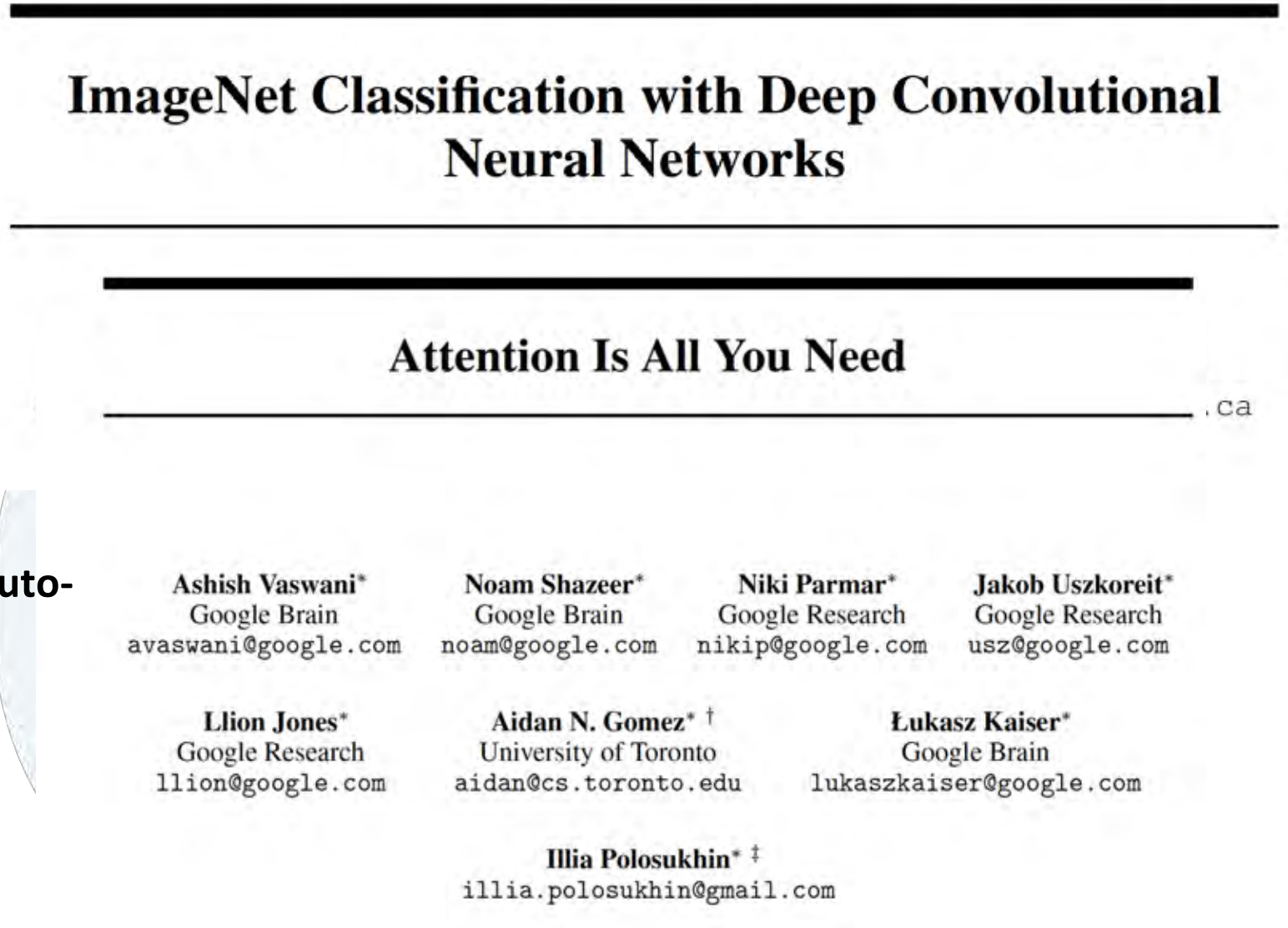
Avancées majeures dans le domaine de l'IA et de la segmentation

➢ 2012

- ➢ Aussi connu sous le nom « AlexNet »
- ➢ Entrainement GPU
- ➢ 176 814 citations

➢ 2017

- ➢ Introduction des « Transformer »
- ➢ Mécanisme d'attention auto-régulée (self-attention) permettant l'analyse en parallèle plutôt que séquentielle
- ➢ 182 179 citations!!!



ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks

Attention Is All You Need

.ca

Ashish Vaswani* Google Brain avaswani@google.com

Noam Shazeer* Google Brain noam@google.com

Niki Parmar* Google Research nikip@google.com

Jakob Uszkoreit* Google Research usz@google.com

Llion Jones* Google Research llion@google.com

Aidan N. Gomez* † University of Toronto aidan@cs.toronto.edu

Łukasz Kaiser* Google Brain lukaszkaiser@google.com

Illia Polosukhin* ‡ illia.polosukhin@gmail.com

Avancées majeures dans le domaine de l'IA et de la segmentation

➢ 2021

- ➢ Découpe une image en petits patchs (par exemple 16x16 pixels), comme si chaque patch était un "mot".
- ➢ 63 502 citations !!

Published as a conference paper at ICLR 2021

AN IMAGE IS WORTH 16X16 WORDS:
TRANSFORMERS FOR IMAGE RECOGNITION AT SCALE

Alexey Dosovitskiy*,†, Lucas Beyer*, Alexander Kolesnikov*, Dirk Weissenborn*,
Xiaohua Zhai*, Thomas Unterthiner, Mostafa Dehghani, Matthias Minderer,
Georg Heigold, Sylvain Gelly, Jakob Uszkoreit, Neil Houlsby*,†
*equal technical contribution, †equal advising
Google Research, Brain Team
{adosovitskiy, neilhoulsby}@google.com

« Bien que l'architecture *Transformer* soit devenue la norme de facto pour les tâches de traitement du langage naturel, ses applications en vision par ordinateur restent limitées. »

Avancées majeures dans le domaine de l'IA et de la segmentation

➢ 2021

- ➢ Application de méthodes auto-supervisées
- ➢ Sans annotations
- ➢ 7 242 citations

Emerging Properties in Self-Supervised Vision Transformers

Mathilde Caron[1,2] Hugo Touvron[1,3] Ishan Misra[1] Hervé Jegou[1]
Julien Mairal[2] Piotr Bojanowski[1] Armand Joulin[1]

[1] Facebook AI Research [2] Inria* [3] Sorbonne University

➢ Décembre 2023

- ➢ Les modèles à espace d'états (SSM – Space State Model)
- ➢ architecture Mamba
- ➢ Efficacité computationnelle et faible consommation mémoire
- ➢ 3 472 citations

Mamba: Linear-Time Sequence Modeling with Selective State Spaces

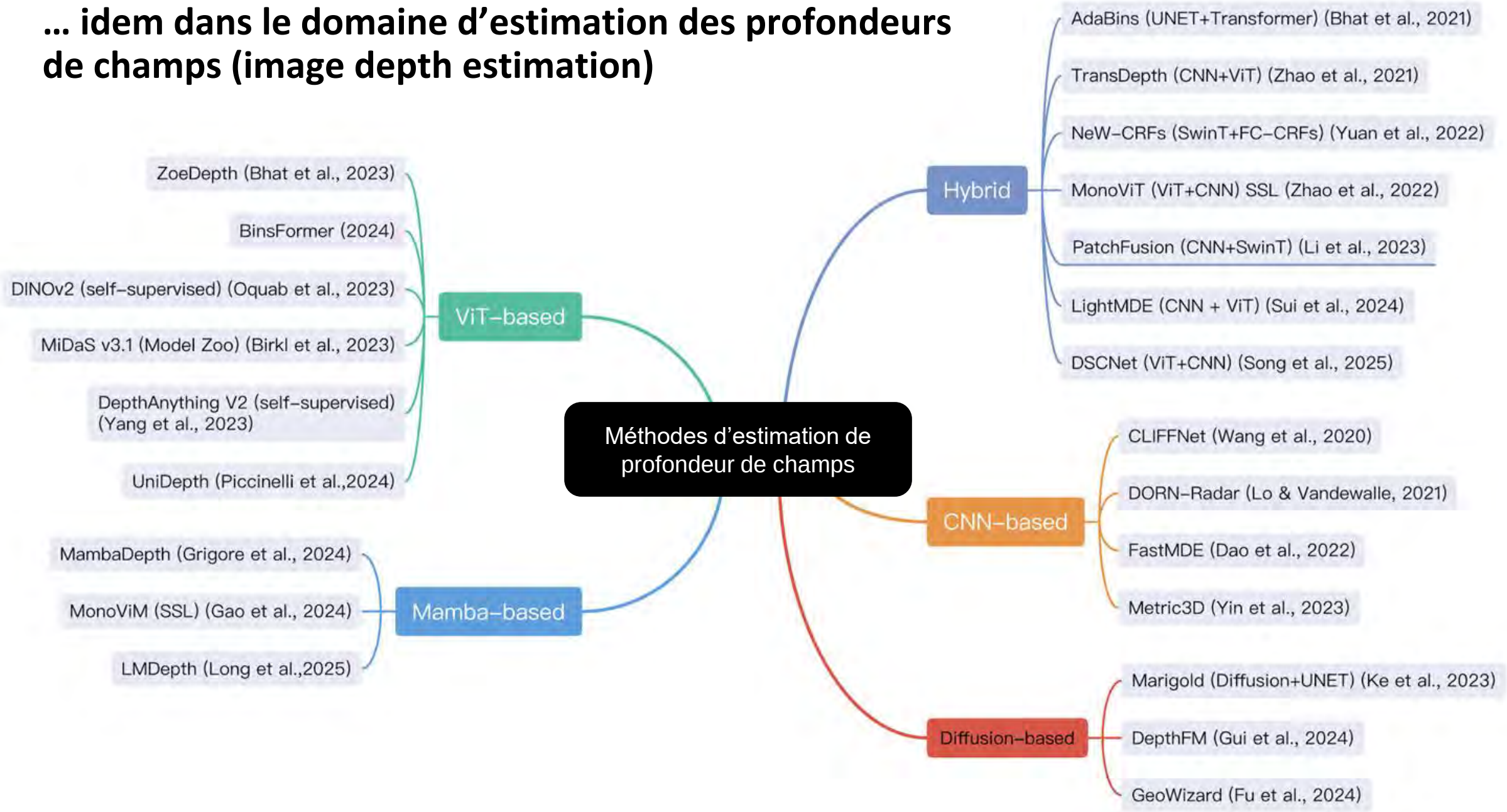
Albert Gu*[1] and Tri Dao*[2]

[1]Machine Learning Department, Carnegie Mellon University

[2]Department of Computer Science, Princeton University
agu@cs.cmu.edu, tri@tridao.me

En résumé…

… idem dans le domaine d'estimation des profondeurs de champs (image depth estimation)



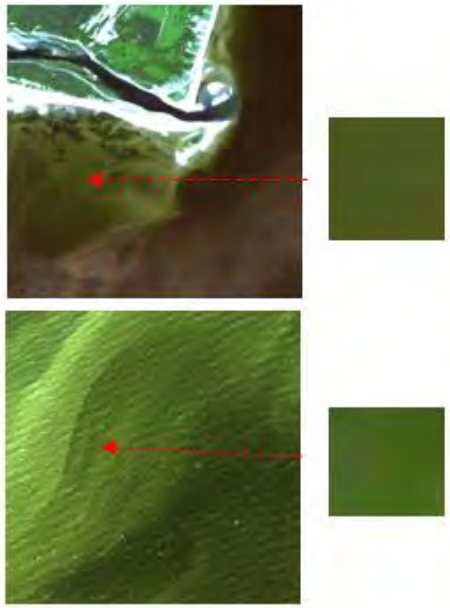
L'IA et la bathymétrie

- Les avancées en IA ont rapidement trouvé preneurs dans le domaine de la télédétection du « Land Cover », mais moins dans le domaine des applications en milieu aquatique

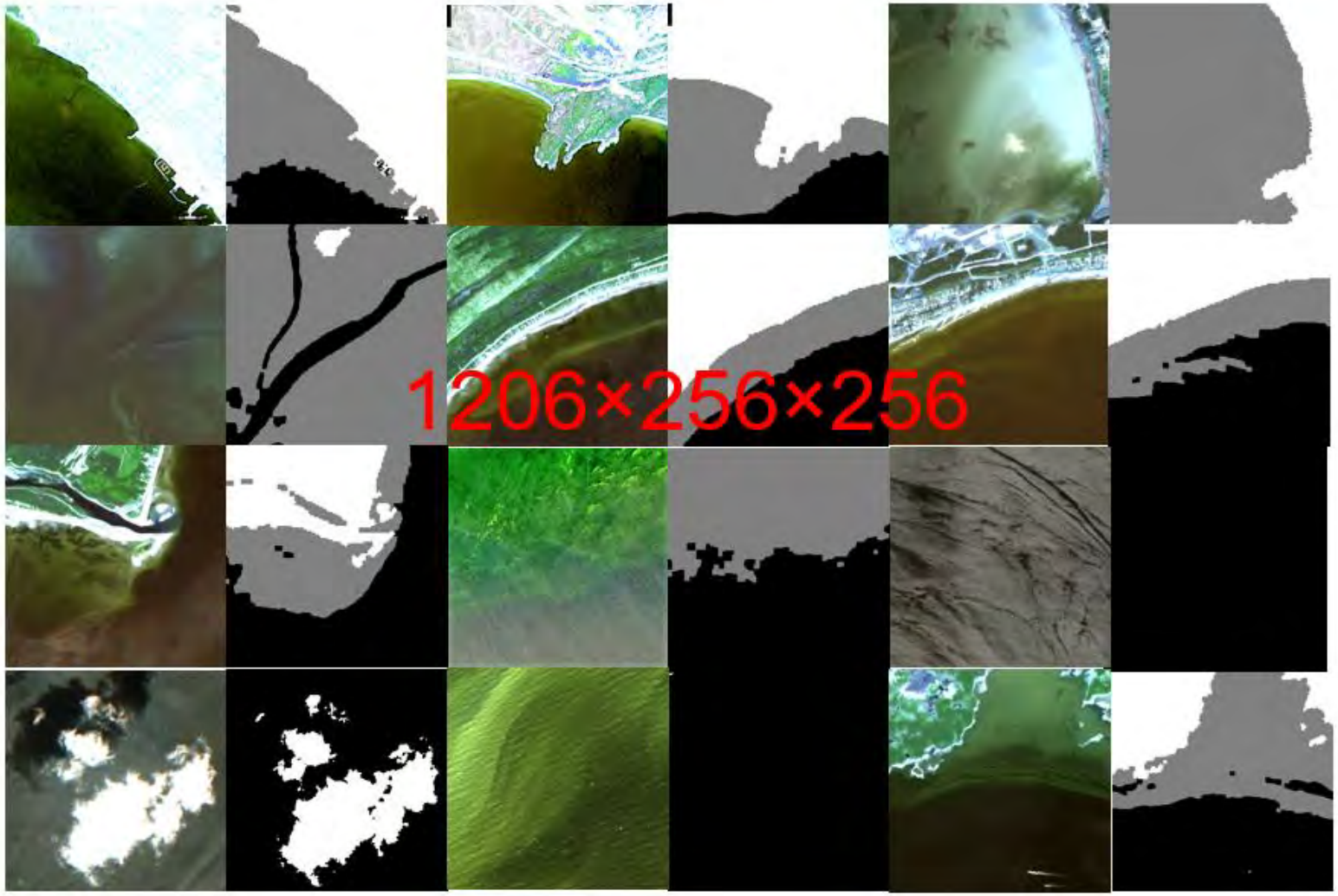
- Dans le domaine de la bathymétrie satellitaire, l'IA s'impose aussi rapidement

- Arctus a entreprit des travaux de R&D en 2020 qui ont mené au développement de l'IA4SDB, une boite à outils pour la bathymétrie satellitaire

OSW&ODW detection

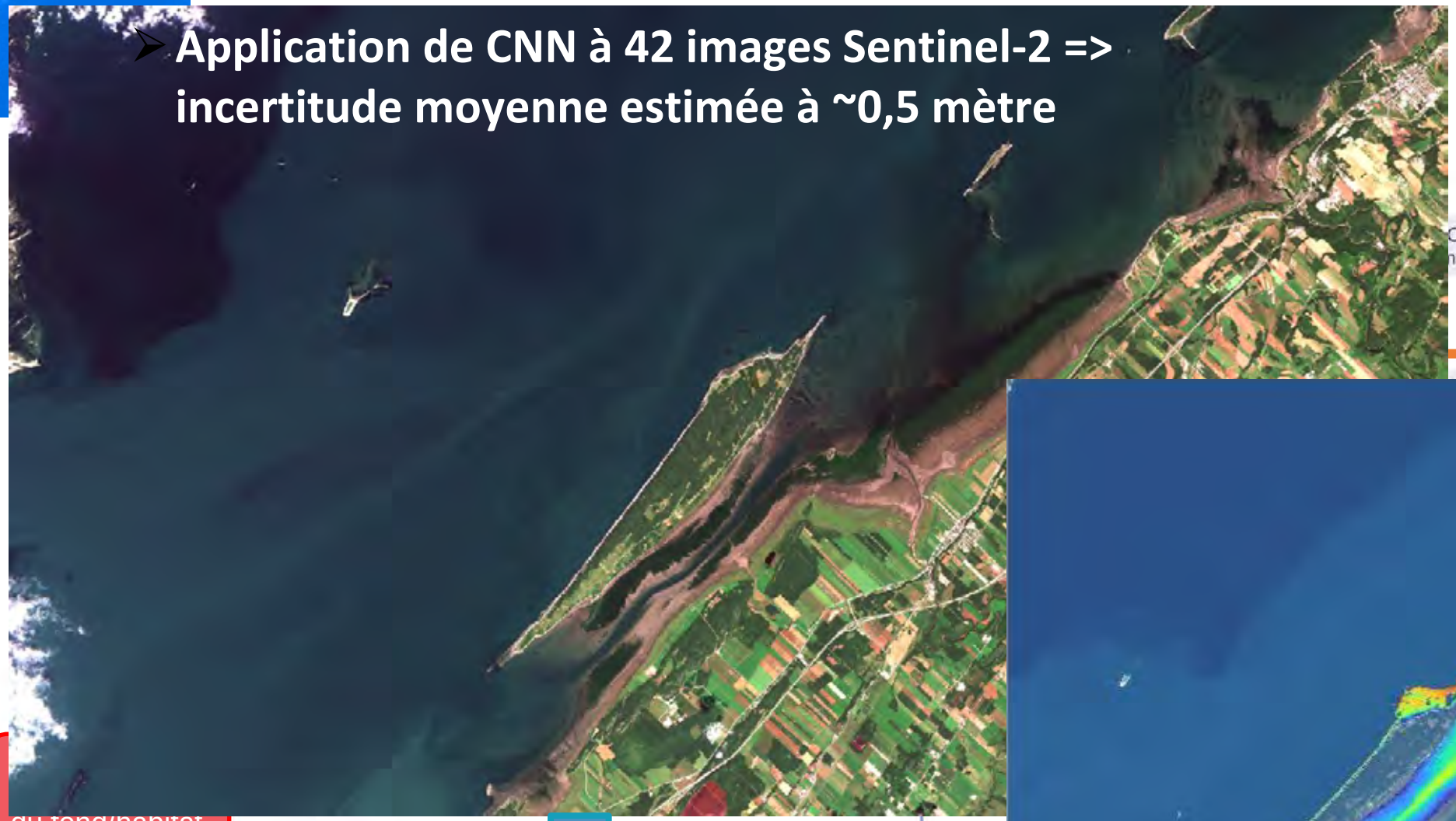


UNET



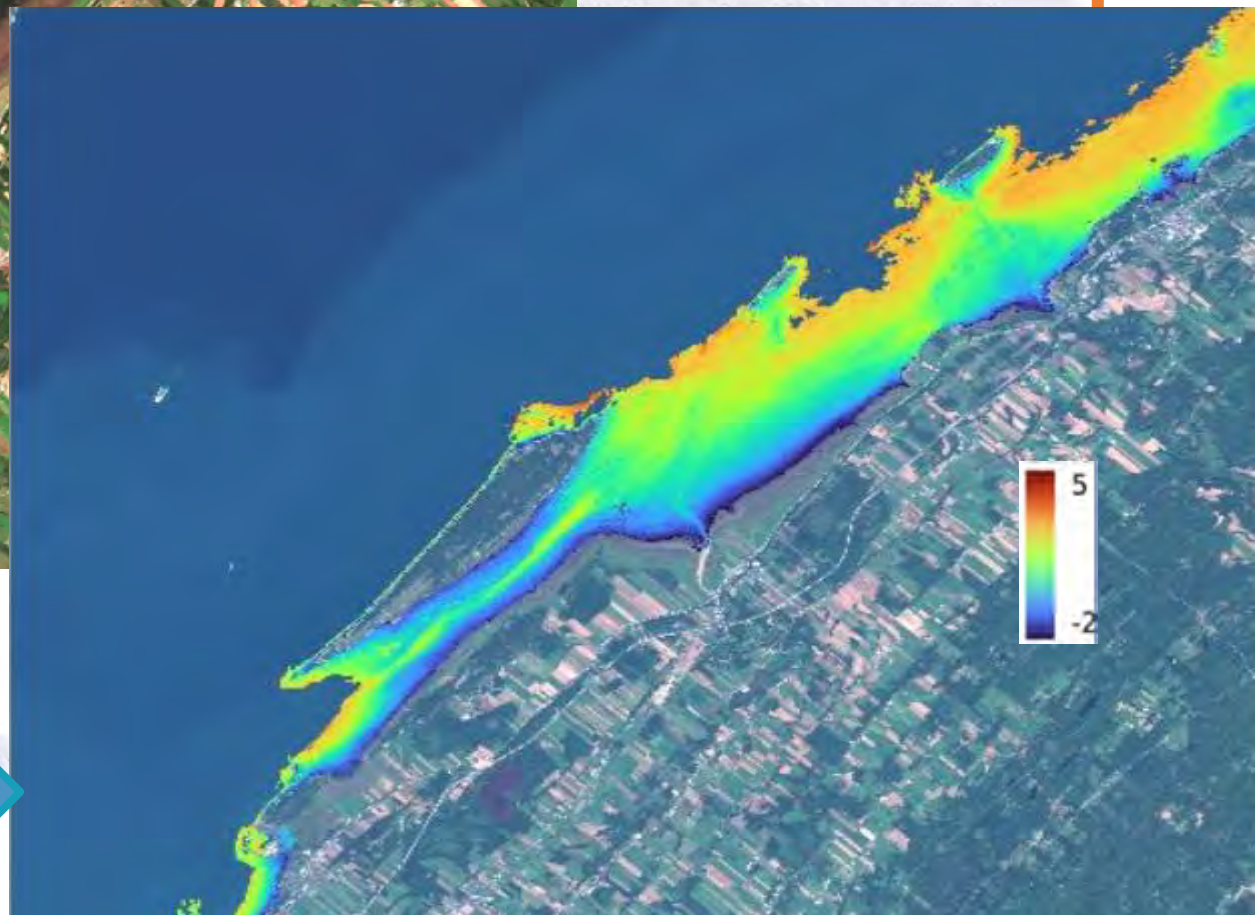
eurs

➢ **Application de CNN à 42 images Sentinel-2 => incertitude moyenne estimée à ~0,5 mètre**

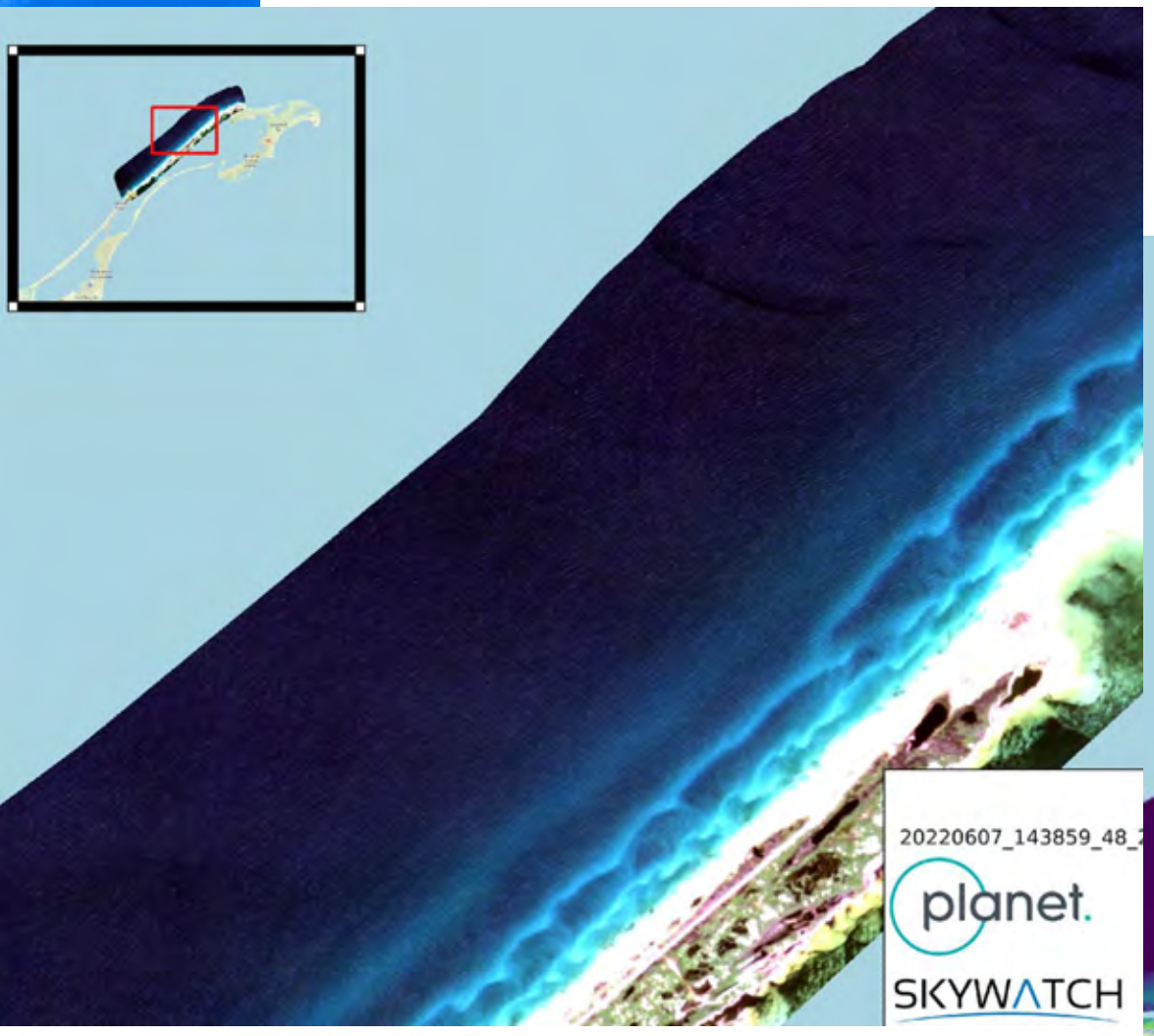


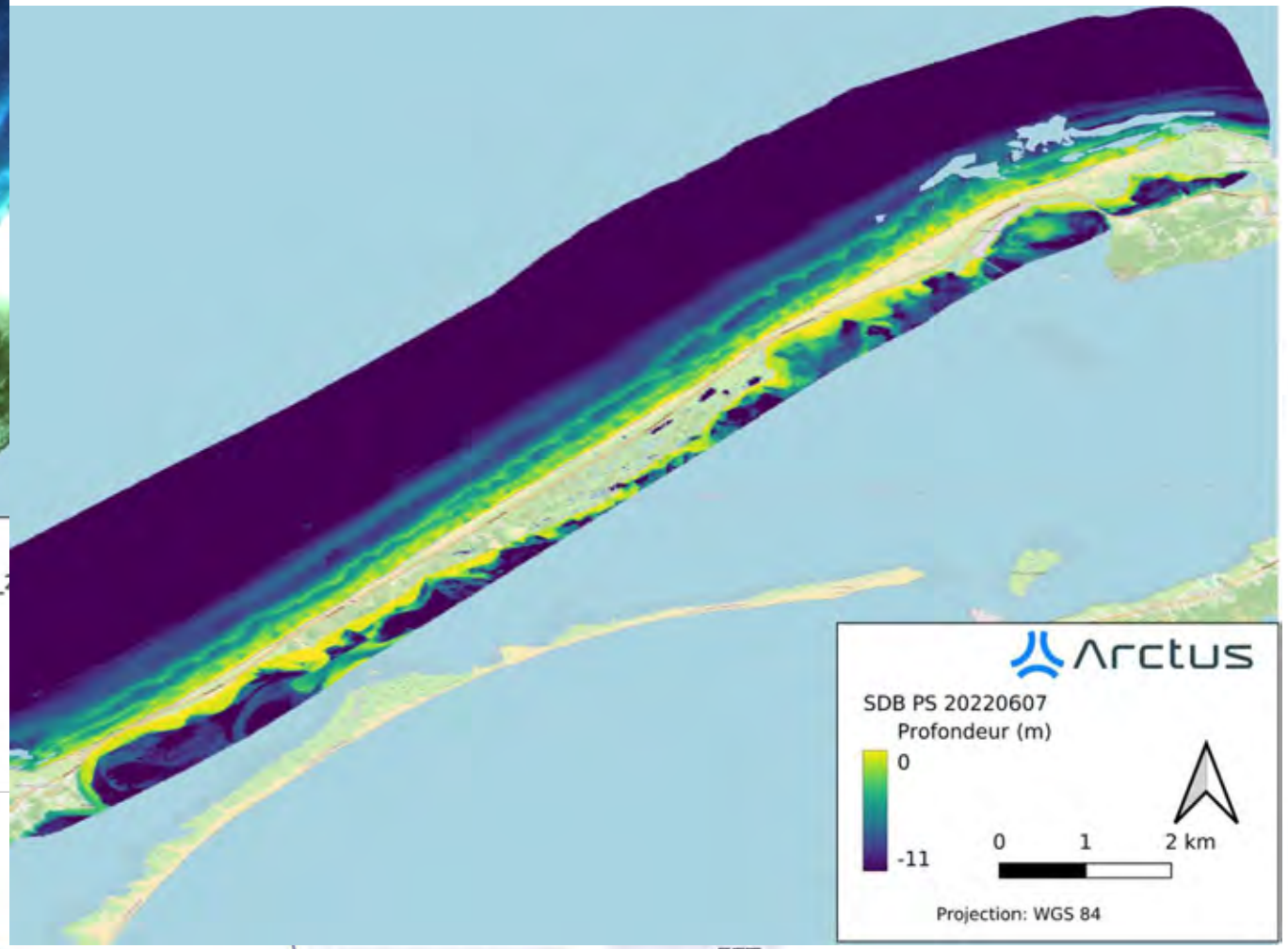
OMAP
nann 2022)

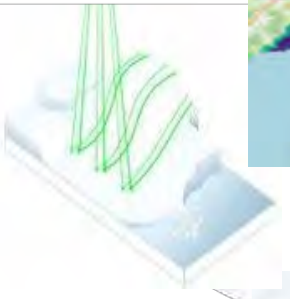
du fond/habitat



- **Combinaison Lidar + multispectrale à haute résolution (Pleiades NEO; PlanetScope)**
- **Modèle physique combinant les transects de mesures Lidar du satellite ICESAT-2 pour l'estimation des paramètres optiques**







Wave Theory–based — FFT (Yang 2022)

Limites de AI4SDB 1.0

1. La **détection des eaux peu profondes** repose sur une annotation manuelle, et le modèle présente des problèmes de généralisation.

1. La séparation entre la détection des **eaux peu profondes** et la sélection des « bonnes » images entraîne une inefficacité.

1. Modèle **CNN obsolète** pour l'estimation de la profondeur d'eau : (Le CNN avec une petite fenêtre ne tient pas compte du contexte global, et la prédiction pixel par pixel n'est ni efficace ni cohérente.)

1. Faible précision de la **détection du fond marin** avec ICESat-2.

1. **Cartographie régionale à petite échelle**.

Opportunités

- **Des technologies révolutionnaires émergent en vision par ordinateur Architectures =>** modèles fondamentaux revisités, paradigmes d'apprentissage change, jeux de référence (benchmarks)

- **Davantage de jeux de données annotés sont publiquement disponibles =>** p.ex., surface de l'eau et fond marin d'ICESAT-2

Défis actuels en bathymétrie satellitaire

- **Modèles génériques peu adaptés** => Les modèles fondamentaux en télédétection montrent des performances incertaines pour la détection des eaux peu profondes.

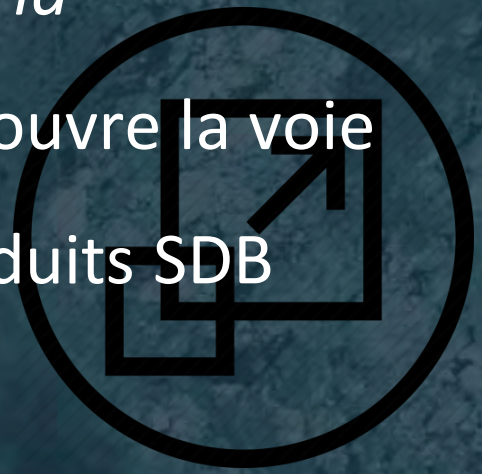
- **Jeux de données de faible qualité =>** Les données annotées disponibles sont souvent incomplètes ou bruitées.

- **Détection du fond marin ICESAT-2 difficile =>** Les modèles actuels produisent trop de faux positifs et faux négatifs (produit de la NASA inutilisable en Arctique).

« Take home messages »

La bathymétrie satellitaire se base sur plus de 40 ans de recherche fondamentale et appliquée

Les récents lancements de satellites d'OT (*non dédié à la bathymétrie*), combinés aux récentes avancées en IA, ouvre la voie à de nouvelles approches et une amélioration des produits SDB



En perspective

Objectifs visés par AI4SDB 2.0:

- Détection simultanée des eaux profondes et peu profondes, des surfaces terrestres, des nuages et de l'ombre de nuages en zone côtière.
- Détection automatique du fond marin par ICESat-2 plus précise.
- Estimation de la bathymétrie plus précise pour la cartographie à grande échelle (p. ex. l'Arctique Canadien).

Conclusion

Le Canada possède l’expertise (Arctus, Liquid Geomatics, Dr. Knudby U. Ottawa) dans le domaine le domaine de la Bathymétrie Satellitaire dans un **marché mondial compétitif** (EOMAP, Tcarta, HighTech Imaging)

arctus.ca

Arctus

Télédétection des environnements aquatiques
& veille environnementale

Merci

sbe@arctus.ca

yp@arctus.ca (pour toutes questions techniques)