



Simulation des fréquentations de plaisance dans le Bassin d'Arcachon : *complémentarité des données et des méthodes quali-quant*

Kimberley Cloirec^(1,2), Antoine Le Doeuff^(1,2), Frédéric Audard^(1,2), Caroline Bontet^(3,4), Cyril Tissot^(2,5), Ingrid Peuziat^(1,2),
Nicolas Le Corre^(1,2), Kévin Leleu^(3,4), Guilhem Autret⁽⁴⁾

1 : Université de Bretagne Occidentale

2 : UMR 6454 LETG Brest – Littoral, Environnement, Télédétection, Géomatique

3 : Office Français de la Biodiversité (OFB)

4 : OFB – Parc Naturel Marin du Bassin d'Arcachon

5 : CNRS – Centre National de la Recherche Scientifique



kimberley.cloirec@univ-brest.fr

antoine.ledoeuff@univ-brest.fr

frederic.audard@univ-brest.fr

CONTEXTE

Parc Naturel Marin du Bassin d'Arcachon (PNM-BA)



0 2,5 5 kilomètres
0 1 2 milles marins

——— Périmètre du Parc naturel marin
 - - - - - Périmètre Natura 2000

limite de la mer territoriale (12 milles marins)

GOLFE DE GASCOGNE

435 km²

25%
Surface exposée
à marée basse

3 milles marins

20 m

banc
d'Arguin

Dune du Pilat

Cap Ferret

Arcachon
La-Teste-
de-Buch

Canal des Landes

GIRONDE

Île aux oiseaux

Bassin
d'Arcachon

Delta
de l'Eyre

La Leyre

LANDES

17 000

Hivernation
Bernaches cravants
en 2024
(*Branta bernicla*)



48% des
herbiers marins
nationaux



5% de la
capacité de
mouillage national



3 600
de concessions
ostréicoles

**PLAN DE
GESTION**

**Programme de suivi et de
compréhension du trafic
maritime**



QUANTIFIER ET MODÉLISER LES FRÉQUENTATIONS

APPROCHE INTÉGRÉE & REPRODUCTIBLE



OBJECTIVER LES OBSERVATIONS
À FINE ÉCHELLE SPATIO-TEMPORELLE

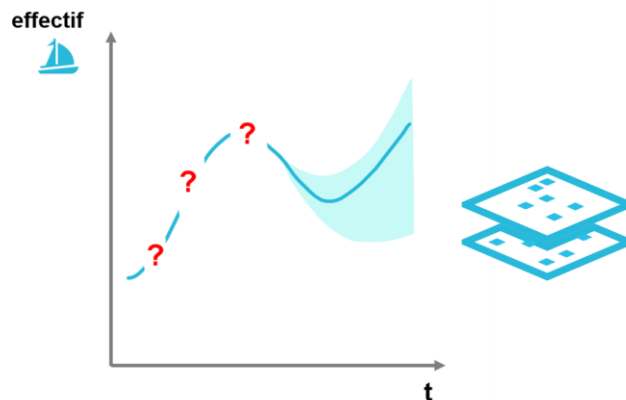


FURNIR DES OUTILS OPERATIONNELS
POUR LA GESTION DES AMPs

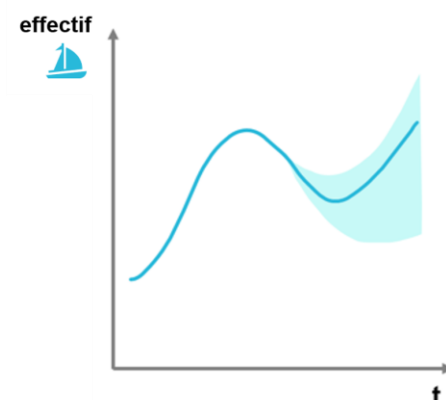
1 - COMPRENDRE



2 - EXTRAPOLER



3 - PREDIRE



RECENSER LA FRÉQUENTATION

Granularité spatio-temporelle et
représentativité

GRANULARITÉ SPATIO-TEMPORELLE & COMPLÉMENTARITÉ

SOURCE DE DONNÉES	Date
AIS *	2021-2023
Campagnes aériennes (Ortho, Pléiade)	2023
Comptages RESOBLO	2021
Enquêtes qualitatives RESOBLO	Juil.-Déc. 2021
Diagnostic Analyse risque Pêche	2021
Diagnostic Socio-économique Pêche Récréative	2022
Données SPATIONAV (Données non accessibles)	continu
Enquêtes et études de fréquentation de partenaires locaux	-
Enquêtes ménages-déplacements de l'agglom. Bordeaux	2009, 2017 ~2019

Représentativité

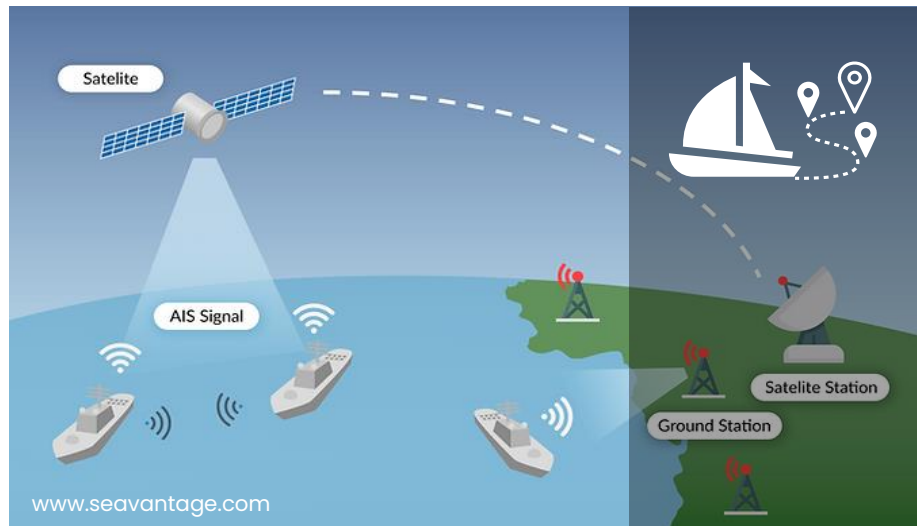
Exhaustif	Parcellaire	X
-----------	-------------	---

*Automatic Identification System



Données AIS

2021 – 2023



Sources de données :



Port de l'AIS
obligatoire pour :



Transports de passagers



Navires de pêche de plus de 15m



300 tonnes de jauge brute

SOURCE DE DONNÉES	Résolution temporelle		Emprise spatiale	
	Date	R_T	E_s	
AIS	2021-2023	→	■	
Campagnes aériennes (Ortho, Pléiade)	2023	---→	■	
Comptages RESOBLO	2021	---→	□	
Enquêtes qualitatives RESOBLO	Juil.-Déc. 2021	---→	□	
Diagnostic Analyse risque Pêche	2021	---→	□	
Diagnostic Socio-économique Pêche Récréative	2022	---→	□	
Données SPATIONAV (Données non accessibles)	continu	→	■	
Enquêtes et études de fréquentation de partenaires locaux	-	---→	□	
Enquêtes ménages-déplacements de l'agglo. Bordeaux	2009, 2017 ~2019	---→	□	

Continue



Partielle



Représentativité

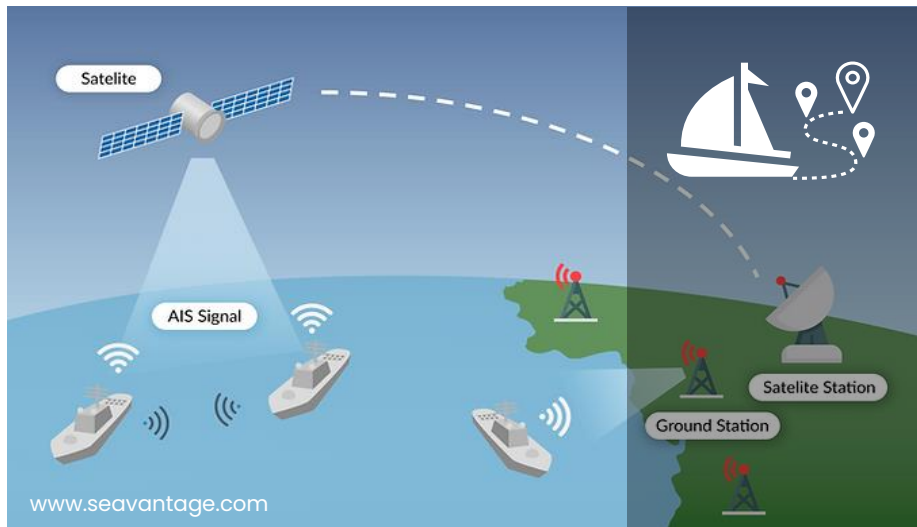
Exhaustif

Parcellaire

X

Données AIS*

2021 - 2023





Sources de données :












Part des navires ne transmettant pas l'AIS

Dépendante des zones géographiques

57% 
(Hague et al., 2025)

70% 
↳ 53%  Plaisance
(Serra-Sogas et al., 2021)

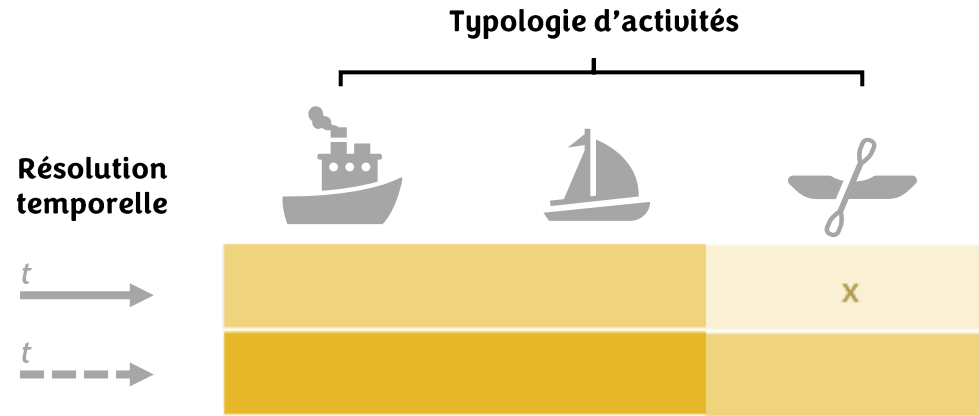
*Automatic Identification System

SOURCE DE DONNÉES	Date	R _T	E _s	Typologie d'activités			
				Pêche	Plaisance	Passagers	Sports Glisse
AIS	2021-2023	→					X
Campagnes aériennes (Ortho, Pléiade)	2023	→					
Comptages RESOBLO	2021	→		X		X	
Enquêtes qualitatives RESOBLO	Juil.-Déc. 2021	→		X		X	
Diagnostic Analyse risque Pêche	2021	→			X	X	X
Diagnostic Socio-économique Pêche Récréative	2022	→			X	X	X
Données SPATIONAV (Données non accessibles)	continu	→					X
Enquêtes et études de fréquentation de partenaires locaux	-	→					
Enquêtes ménages-déplacements de l'agglo. Bordeaux	2009, 2017 ~2019	→				X	

Représentativité

Exhaustif	Parcellaire	X
-----------	-------------	---

DONNÉES AIS IMAGES AÉRIENNES



Représentativité ?

Exhaustive
Parcellaire
X

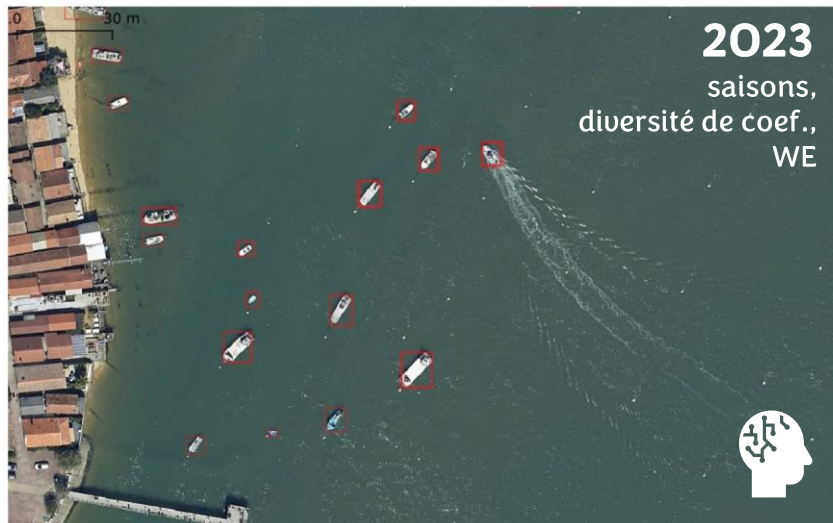


facteurs limitants :

- Résolution des images
- Typologie renseignée par Marine Traffic



19 Images aériennes*



Data process:



i-Sea

*

Orthophotographies +
Images satellites Pléiade

Planification d'acquisition selon présélection de
critères déterminants de fréquentation
à dire d'acteurs

ÉCHELLE D'AGRÉGATION QUOTIDIENNE



Capture instantanée



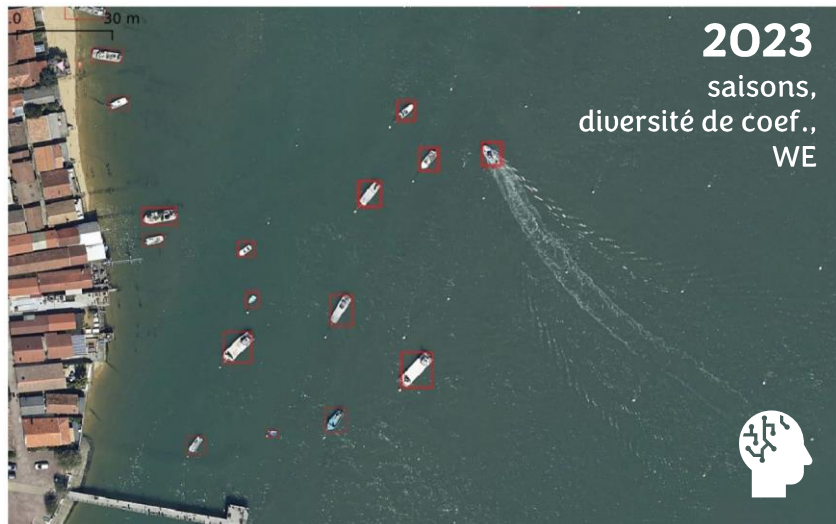
~2h survol



Flux continu (2-30s intervalle)

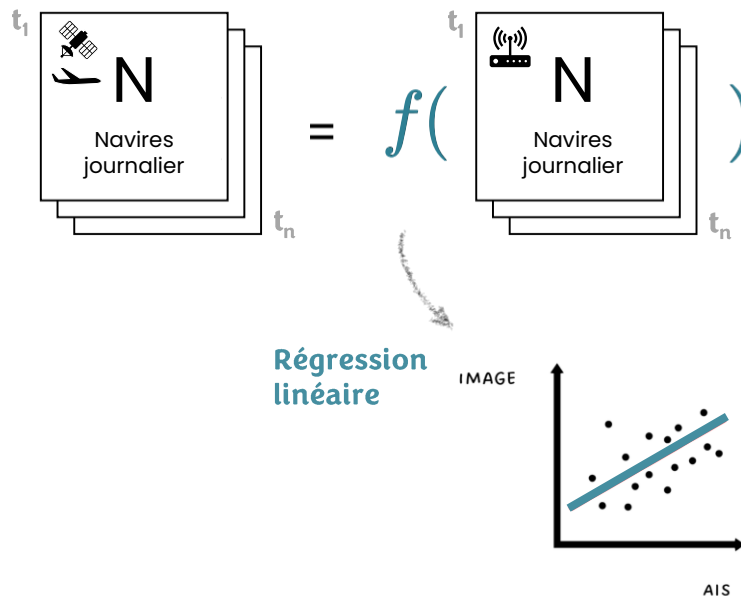


19 Images aériennes*



Data process:  i-Sea

* | Orthophotographies +
Images satellites Pléiade



BIO-HYDRO-SEDIMENT MODELING PLATFORM

MUSTANG + MARS3D + WW3®

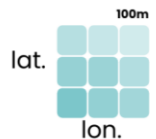
Energy dissipation



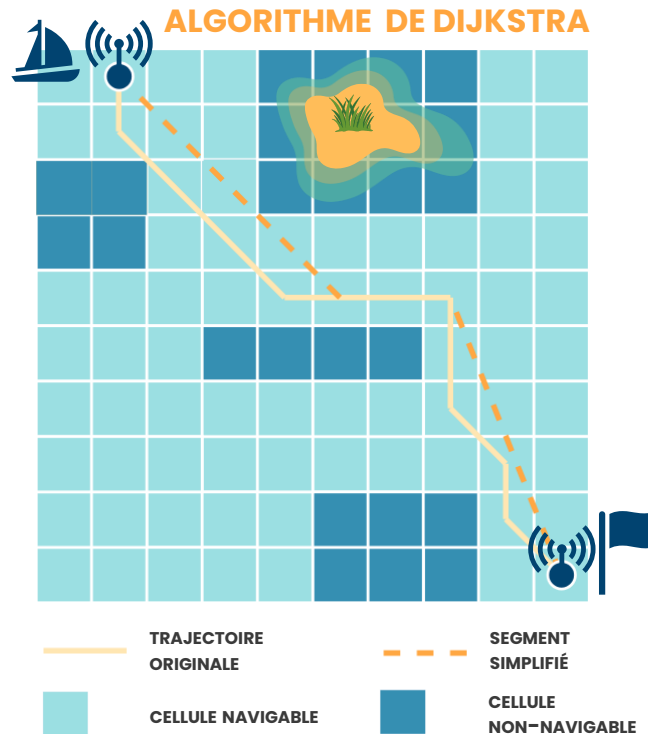
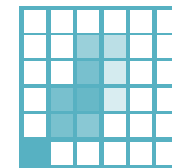
Adapted from (Ganthly & Le Pevedic, 2024)



HAUTEUR D'EAU



Information
spatiale



BIO-HYDRO-SEDIMENT MODELING PLATFORM

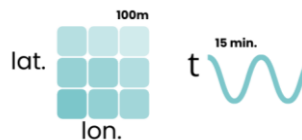
MUSTANG + MARS3D + WW3®

Energy dissipation



Adapted from (Ganthy & Le Pevedic, 2024)

HAUTEUR D'EAU



PORTS OU ZMELS

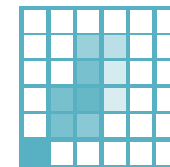


CONCESSIONS
OSTRÉICOLES

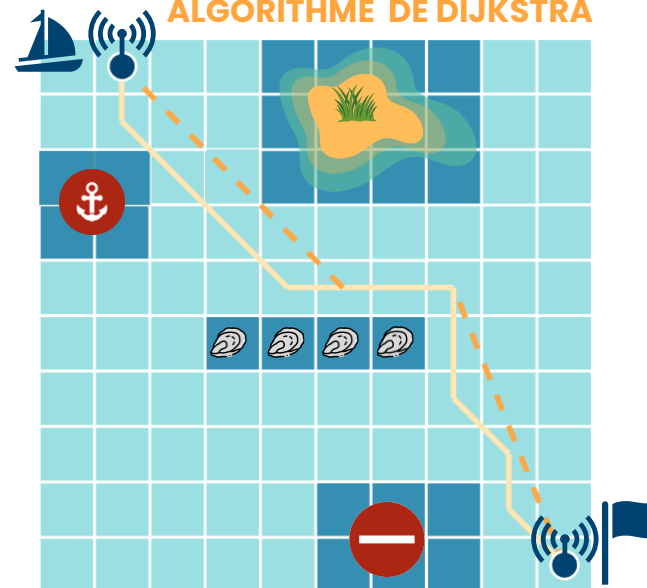


ZONE DE PROTECTION
INTÉGRALE

Information
spatiale



ALGORITHME DE DIJKSTRA

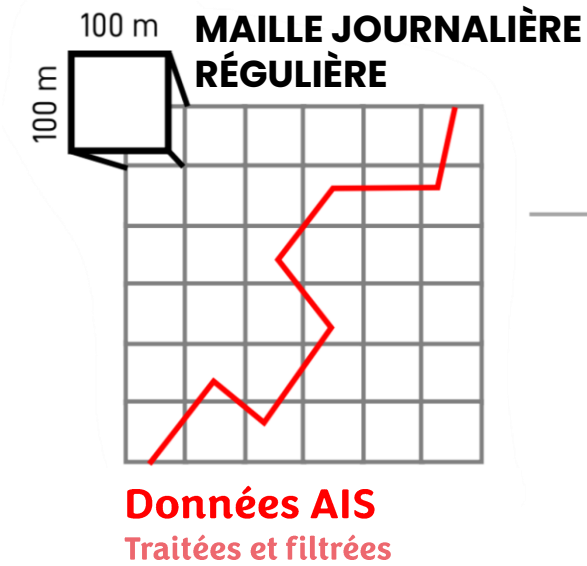


TRAJECTOIRE
ORIGINALE

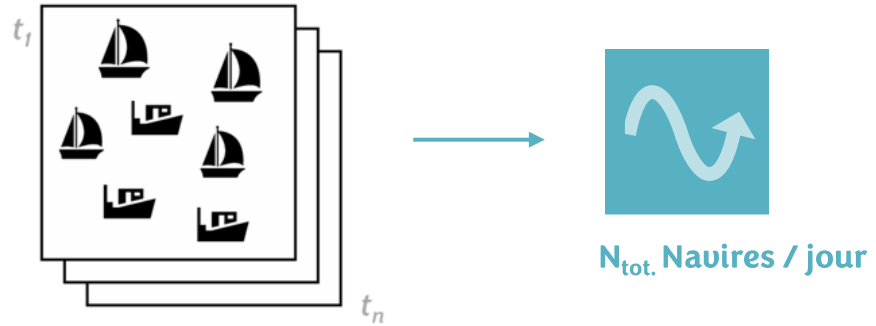
SEGMENT
SIMPLIFIÉ

CELLULE NAVIGABLE

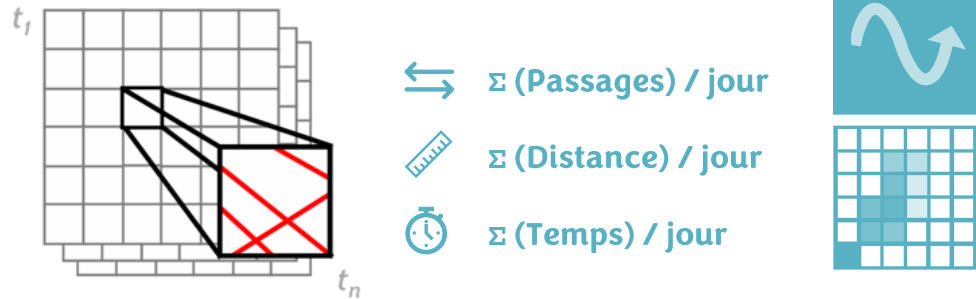
CELLULE
NON-NAVIGABLE



1 INDICATEUR TEMPOREL



3 INDICATEURS SPATIO-TEMPORELS





Même échelle temporelle

date₁

date₂

...

date_n

INDICATEURS

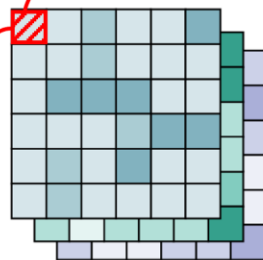
N_{visites}



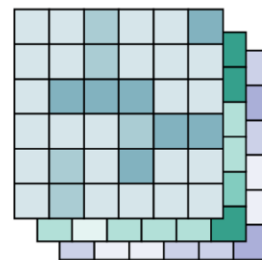
PRÉDICTEURS POTENTIELS



Même échelle spatiale

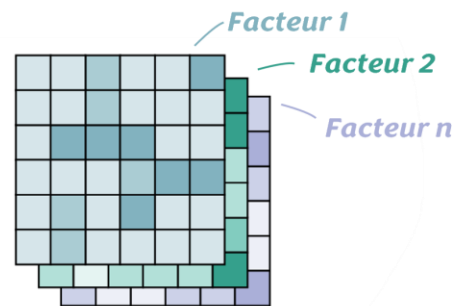


$$R_1 = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$$



$$R_2 = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$$

...



$$R_n = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$$

1 table de données

id_cell	date	x ₁	x ₂	...	x _n
1	2021-01-01	0.5	68	...	-9
2	2021-01-01	0.9	50	...	1
...

Covariable

- Nébulosité
- Hauteur des vagues
- etc.

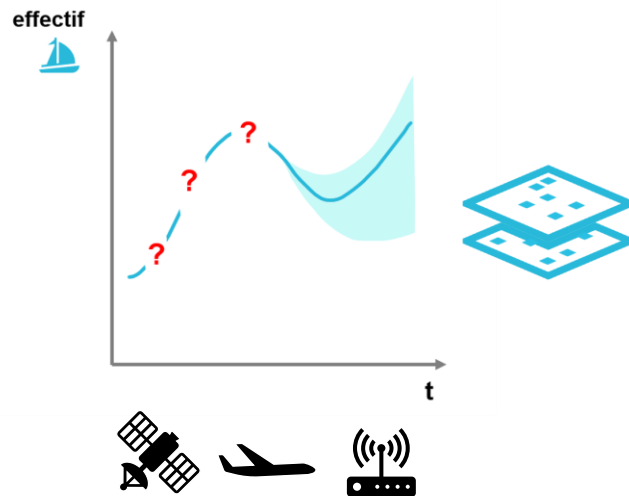
Clé primaire = index spatio-temporel unique

Approche hybride de
**MODÉLISATION
QUANTITATIVE**

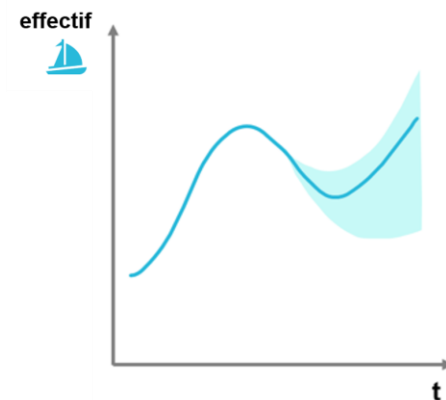
1 – COMPRENDRE



2 – EXTRAPOLER



3 – PREDIRE



1. EXPLICATIF

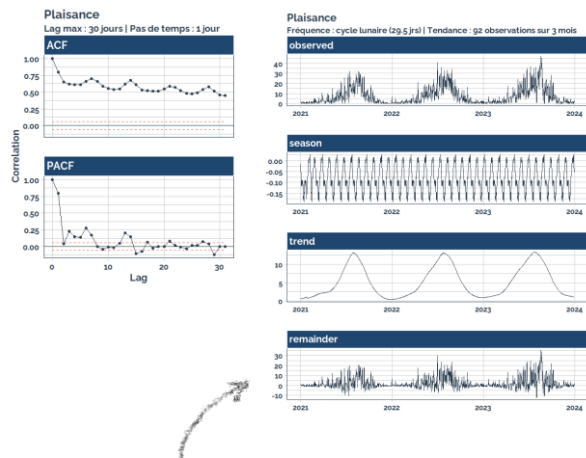
DIAGNOSTIC OBJECTIF TRI-ANNUEL

Optimiser l'ajustement pour détecter la structure, même en cas de surajustement

Modèle statistique (GLM)

Analyse série temporelle

Autocorrélation et STL décomposition



Variance résiduelle

Facteurs déterminants ?

Modèle GLM - Negative Binomiale Distribution

$$N_{\text{boats}}_{t_i} = f(\text{Covariates}_{t_i})$$

n = 34
Prédicteurs potentiels

Variable décalée
 $j-1$
Inertie & anticipation
Moyenne ($j-1 ; j+1$)

+



Corrélation

Step AIC
+ Check
multicolinéarité
(VIF)

1. EXPLICATIF

Modèle statistique (GLM)

DIAGNOSTIC OBJECTIF TRI-ANNUEL

Optimiser l'ajustement pour détecter la structure, même en cas de surajustement



JF

+ 34.8%



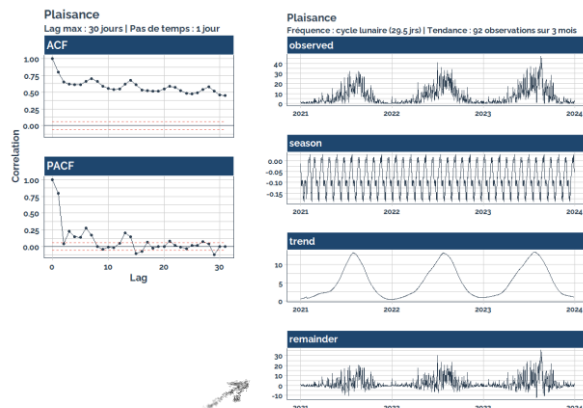
>3h

- 27%

n = 11
Prédicteurs
retenus

Analyse série temporelle

Autocorrélation et STL décomposition



Variance résiduelle

Facteurs déterminants ?

Modèle GLM - Negative Binomiale Distribution

$$N_{\text{boats}}_{t_i} = f(\text{Covariates}_{t_i})$$

n = 34
Prédicteurs
potentiels

Variable décalée

j-1

Inertie & anticipation

Moyenne (j-1 ; j+1)

+



1. EXPLICATIF

Modèle statistique (GLM)

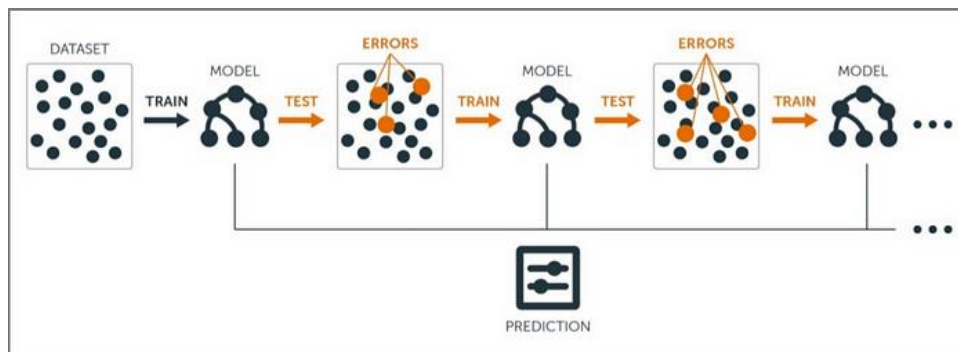
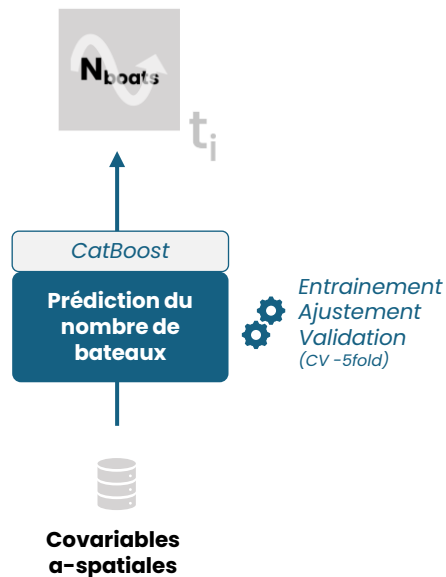
2. PREDICTIF

Machine Learning supervisé

ANTICIPER LE NOMBRE DE BATEAUX DE PLAISANCE ÉQUIPÉS D'AIS À DES DATES ULTÉRIEURES

Optimiser la capacité de généralisation

CatBoost
Random Forest
LightGBM
XGBoost



(Gradient Boosting principle - Kumar, 2020)

1. EXPLICATIF

Modèle statistique (GLM)

2. PREDICTIF

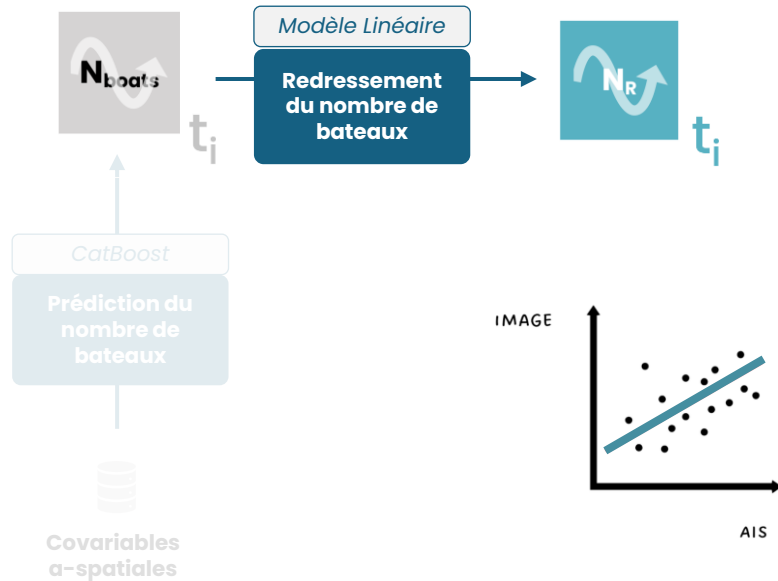
ML supervisé

3. RÉAJUSTEMENT

Modèle statistique (OLR)

CORRECTION EMPIRIQUE

Calibrer les prévisions par rapport aux observations réelles



$$N_R = \beta_0 + \beta^* N_{boats} + \varepsilon$$

1. EXPLICATIF

Modèle statistique (GLM)

2. PREDICTIF

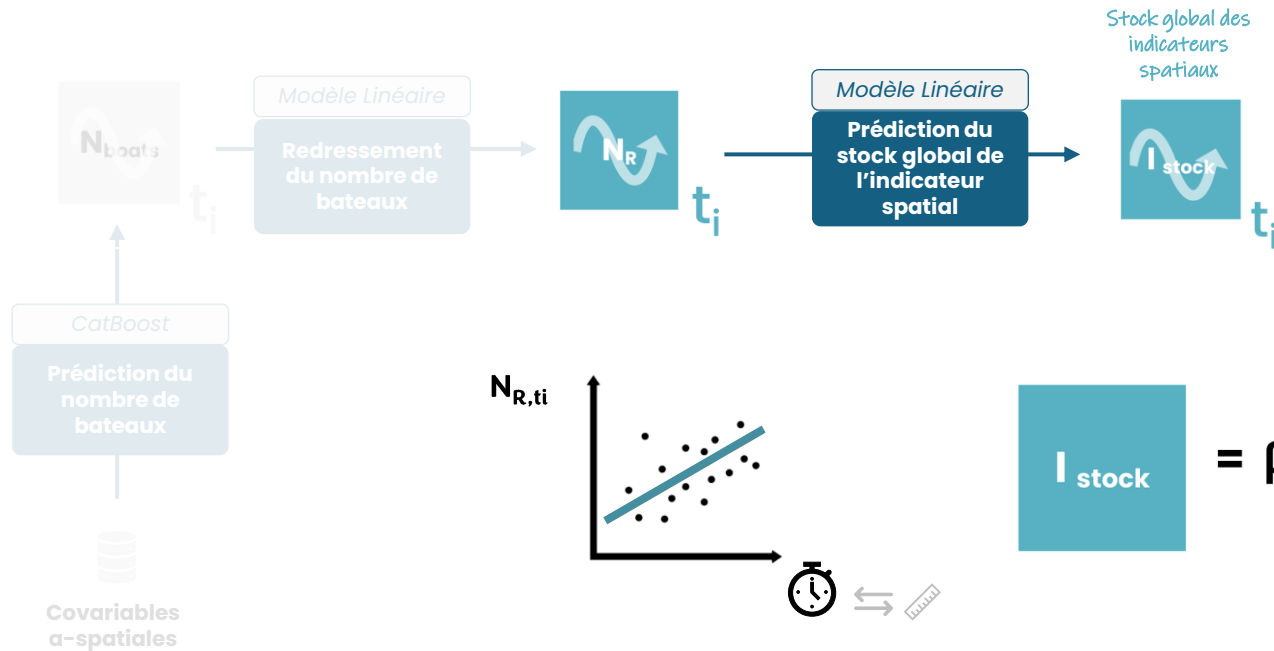
ML supervisé

3. RÉAJUSTEMENT

Modèle statistique (OLR)

CORRECTION EMPIRIQUE

Calibrer les prévisions par rapport aux observations réelles



$$I_{stock} = \beta_0 + \beta^* N_R + \varepsilon$$

1. EXPLICATIF

Modèle statistique (GLM)

2. PREDICTIF

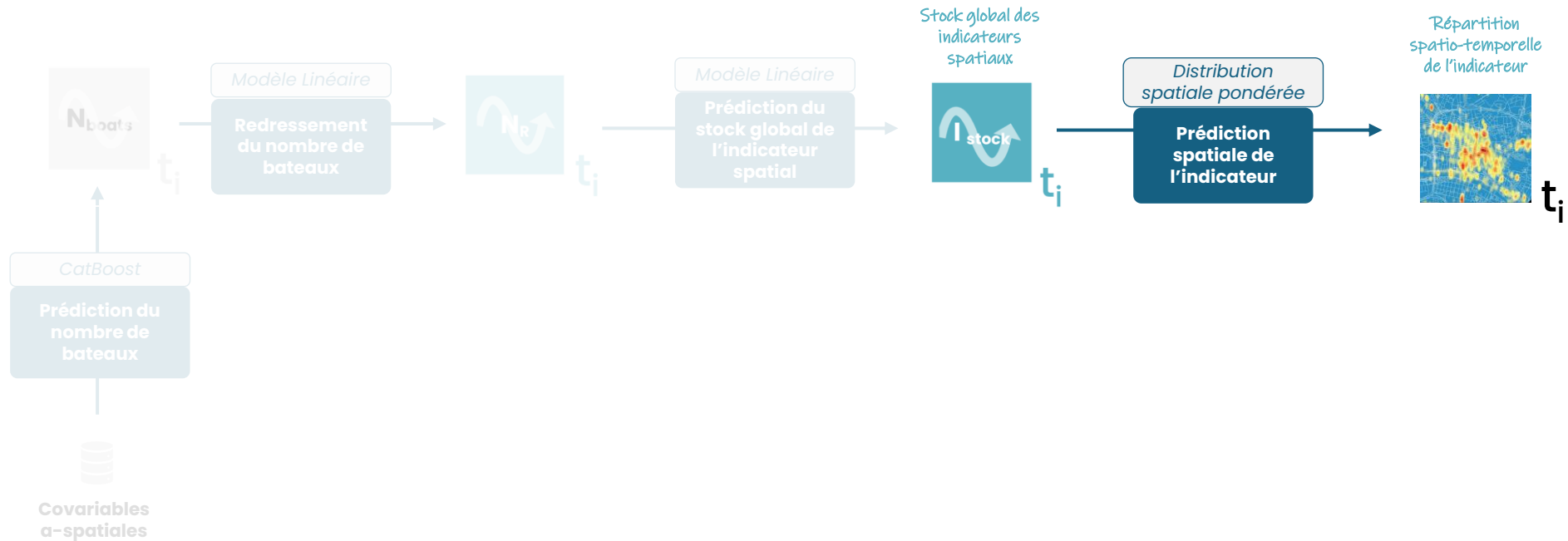
ML supervisé

3. RÉAJUSTEMENT

Modèle statistique (OLR)

4. PRÉDICTION SPATIALE

Combiner approche probabiliste et prédictive



1. EXPLICATIF

Modèle statistique (GLM)

2. PREDICTIF

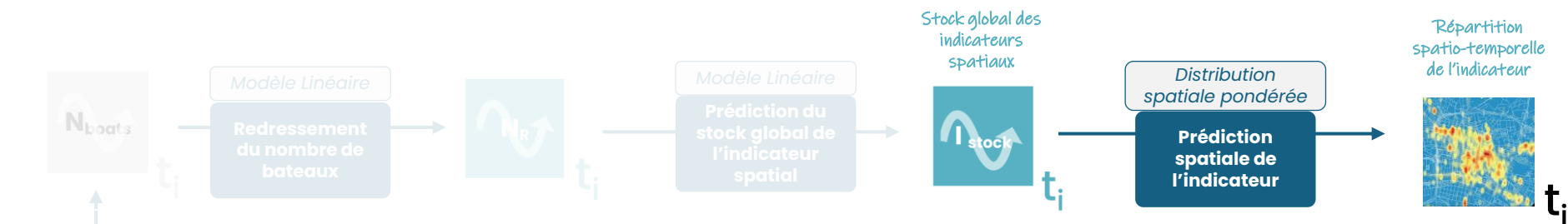
ML supervisé

3. RÉAJUSTEMENT

Modèle statistique (OLR)

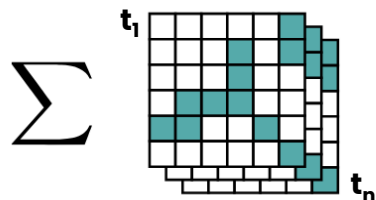
4. PRÉDICTION SPATIALE

Combiner approche probabiliste et prédictive



1. ÉVALUER LA STRUCTURE SPATIALE et non le volume/l'intensité

L'intensité absolue n'est pas fiable pour comparer plusieurs jours entre eux



Abstraction
temporelle

1. EXPLICATIF

Modèle statistique (GLM)

2. PREDICTIF

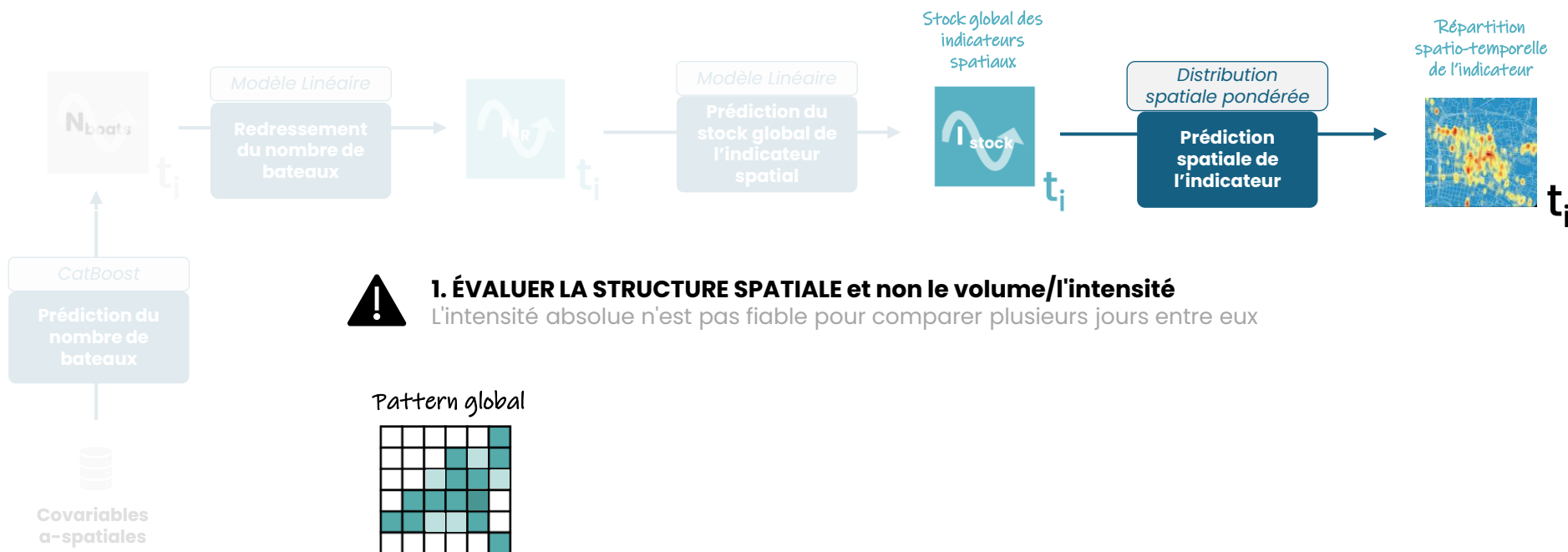
ML supervisé

3. RÉAJUSTEMENT

Modèle statistique (OLR)

4. PRÉDICTION SPATIALE

Combiner approche probabiliste et prédictive



1. EXPLICATIF

Modèle statistique (GLM)

2. PREDICTIF

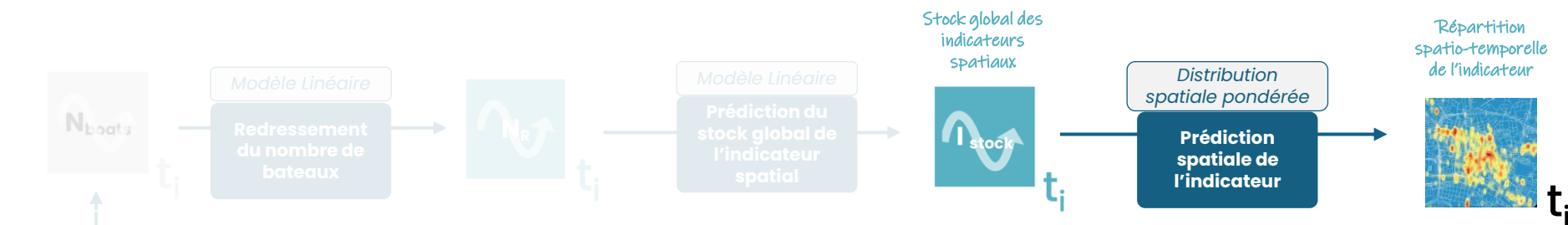
ML supervisé

3. RÉAJUSTEMENT

Modèle statistique (OLR)

4. PRÉDICTION SPATIALE

Combiner approche probabiliste et prédictive



2. RÉINTÉGRER DES MODULATIONS TEMPORELLES RÉALISTES (effet des marées semi-diurnes)

Pattern global

Période de navigabilité

$\text{Pattern global} * \text{Période de navigabilité} = P_{corr} t_i$

$f(\downarrow \uparrow)$

1. EXPLICATIF

Modèle statistique (GLM)

2. PREDICTIF

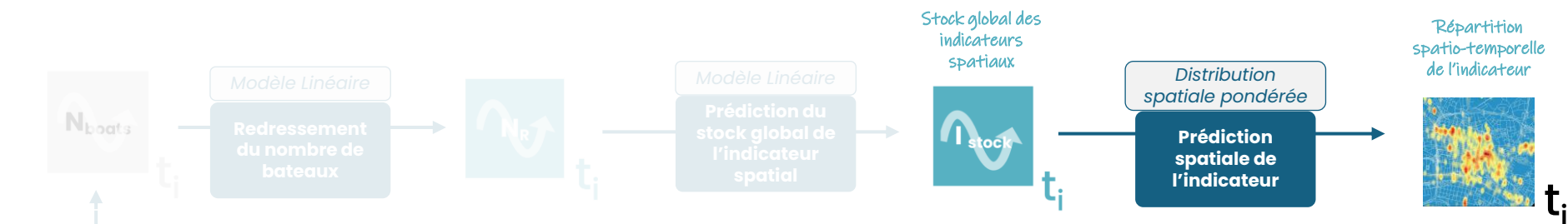
ML supervisé

3. RÉAJUSTEMENT

Modèle statistique (OLR)

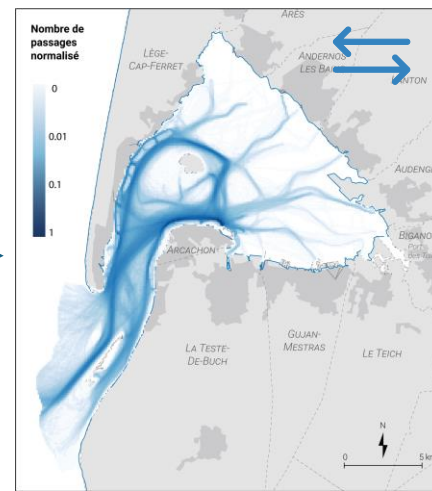
4. PRÉDICTION SPATIALE

Combiner approche probabiliste et prédictive



3. EMPREINTE SPATIALE RELATIVE

Par standardisation -> probabilité de présence



1. EXPLICATIF

Modèle statistique (GLM)

2. PREDICTIF

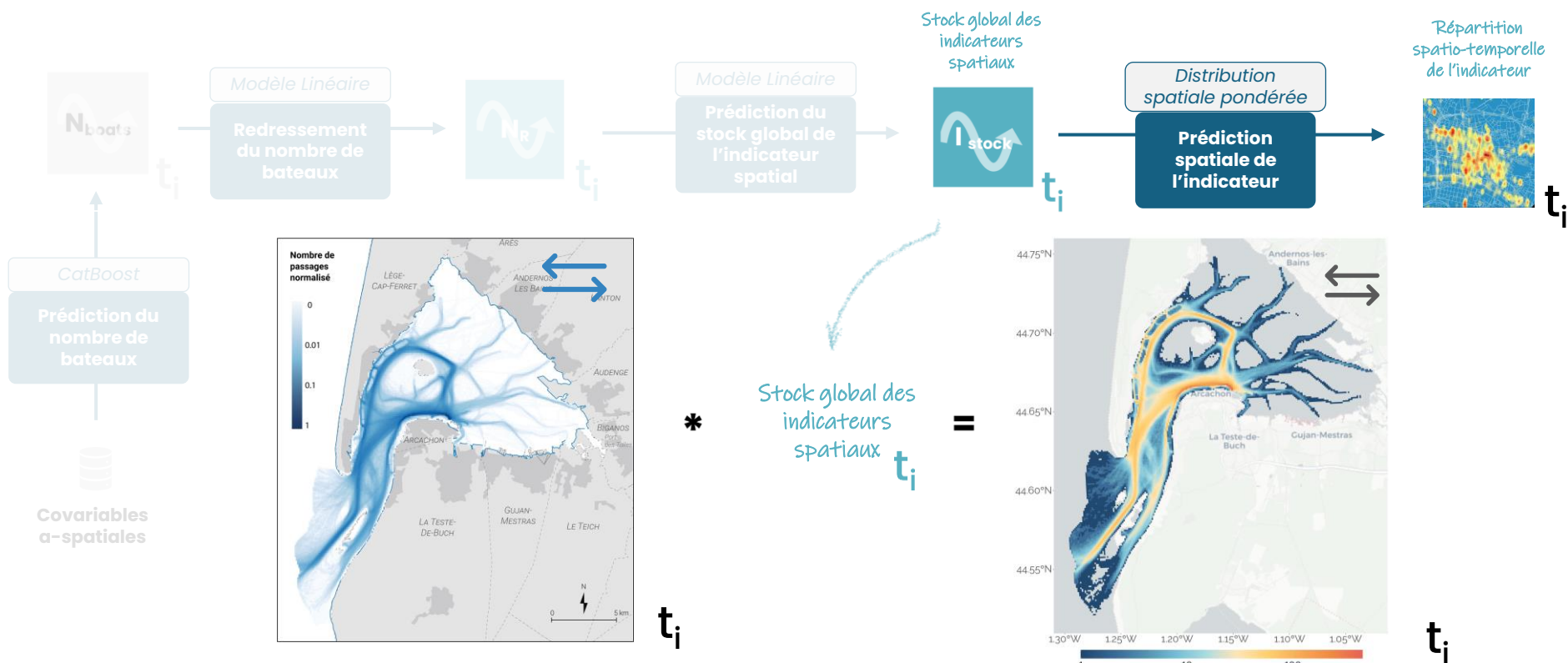
ML supervisé

3. RÉAJUSTEMENT

Modèle statistique (OLR)

4. PRÉDICTION SPATIALE

Combiner approche probabiliste et prédictive



LIMITES ET PERSPECTIVES

Conclusion de l'approche

- Compréhension approfondie des dynamiques de fréquentation
- Production d'indicateurs sur base AIS et enrichissement campagnes aériennes
→ variabilité spatio-temporelle
- Méthodologie adaptée aux contraintes identifiées (granularité SpTp)
- Modèles explicatifs et prédictifs avec de bonnes capacités à capturer les tendances
- Fournis vision opérationnelle fréquentation + déterminants

COMPORTEMENTS
MARGINAUX NON MODÉLISÉS

DEPENDANCE DONNÉES AIS

ÉVALUATION DU MODÈLE

LIMITE 4

⚠ Fréquentations récurrentes (sorties journalières multiples)

- Non modélisables avec AIS, rarement équipées AIS
- Suivi seulement par suivi aérien, mais instantané ne reflète pas le caractère récurrent

Fréquentations distinctes à la fois dans l'espace et dans le temps :

- NUC (Navires à Usages Commerciaux)
- Clubs et écoles de voile
- Clubs de plongée sous-marine

- Besoin d'une démarche qualitative basée sur entretiens

COMPORTEMENTS MARGINAUX NON MODÉLISÉS

DÉPENDANCE DONNÉES AIS

PÉRENNITÉ DU MODÈLE

GAIN DE PERFORMANCE

⚠ Prudence sur leur interprétation

- Couverture incomplète (quali, quanti)
- Qualité variable (hétérogénéité producteurs)
- Granularité spatio-temporelle = compromis finesse prévision / qualité

**COMPORTEMENTS
MARGINAUX NON MODÉLISÉS**

DÉPENDANCE DONNÉES AIS

PÉRENNITÉ DU MODÈLE

GAIN DE PERFORMANCE

**COMPORTEMENTS
MARGINAUX NON MODÉLISÉS**

DÉPENDANCE DONNÉES AIS

PÉRENNITÉ DU MODÈLE

GAIN DE PERFORMANCE

⚠ Questionner la reproductibilité et la représentativité des analyses

- Evolution des pratiques
- Réévaluation des prédicteurs ?
- Inertie des données : 2021, 2022, 2023 = représentatives ?

COMPORTEMENTS
MARGINAUX NON MODÉLISÉS

DÉPENDANCE DONNÉES AIS

PÉRENNITÉ DU MODÈLE

GAIN DE PERFORMANCE

⚠ Nouvelles acquisition de données

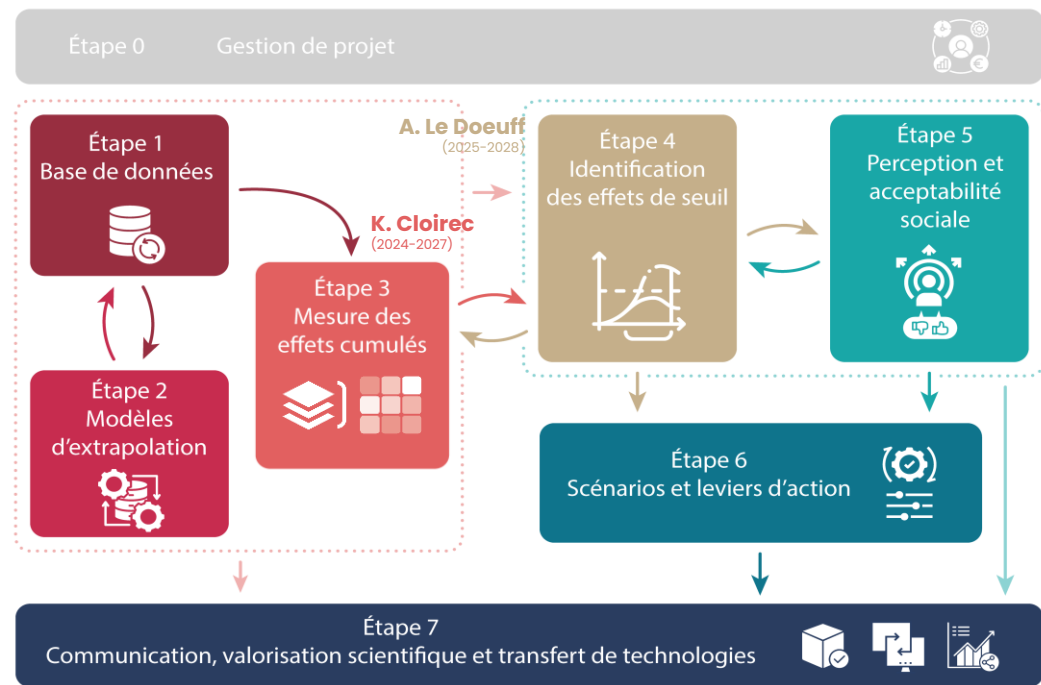
- 19 images = données de validation peu nombreuse (€)
- Résolution des images (50cm, 15cm) : ↗ détection activités
- Observation *in situ*, comptages automatiques (*Andrew et al., 2021 ; O'Hara et al., 2023*)

AFFILIATION PROJET DE RECHERCHE [En phase de recherche de financement]



Consortium de chercheur.e.s et gestionnaires

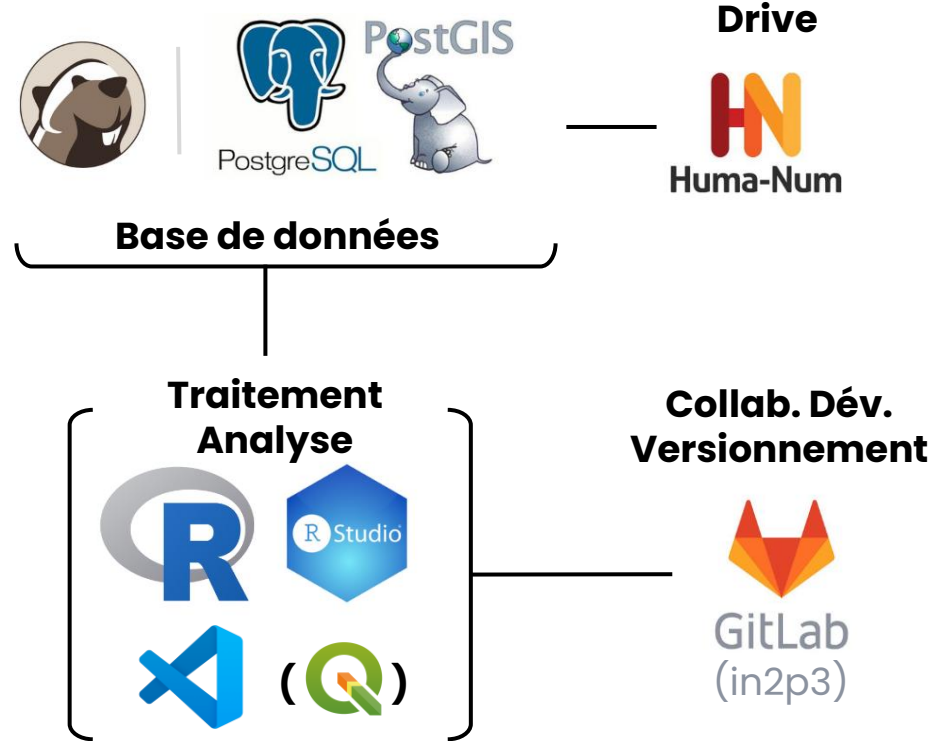
3 projets doctoraux (1 en cours)



↔ Echanges et transferts (connaissances, données, méthodes)

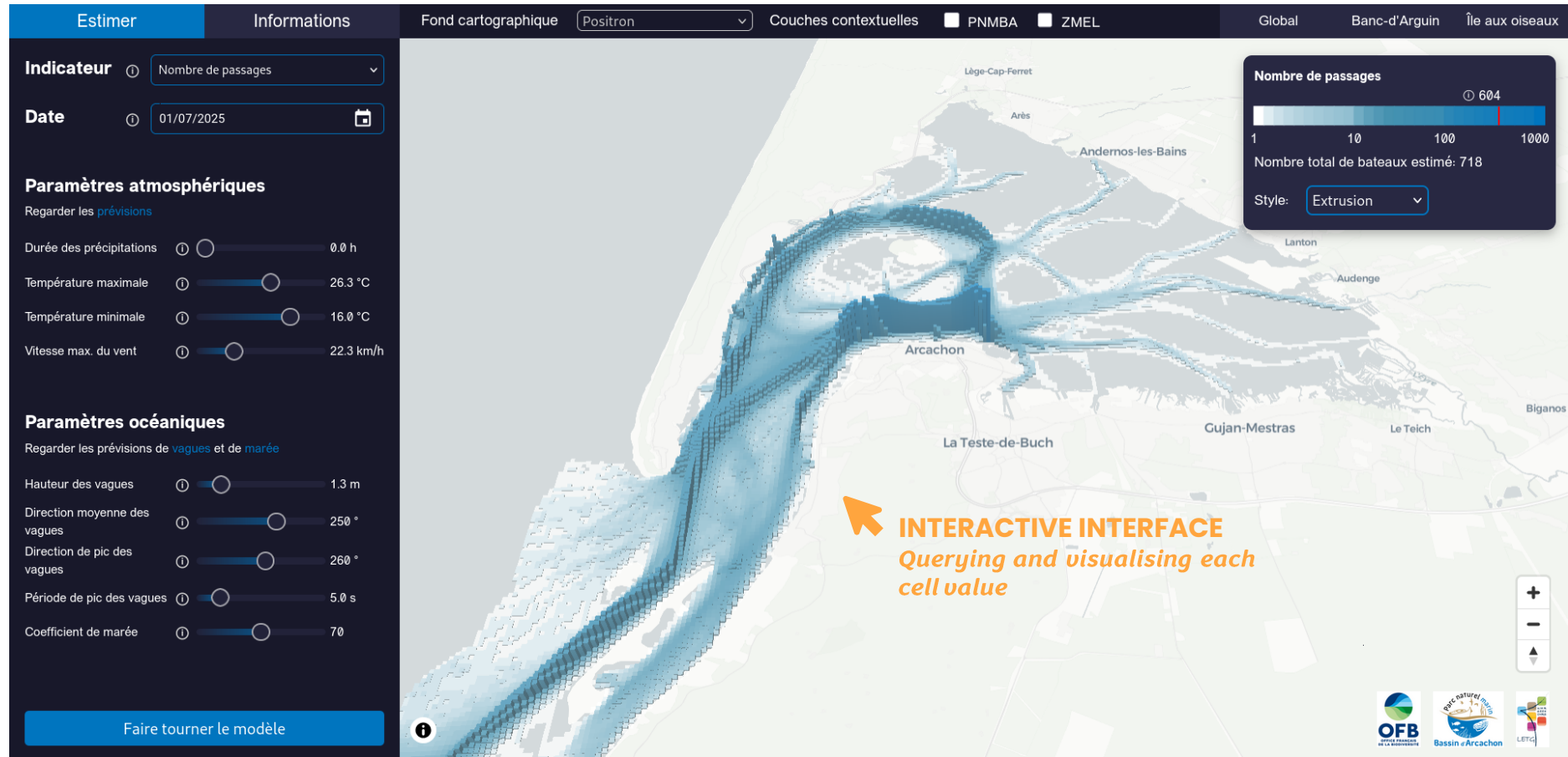
SCIENCE REPRODUCTIBLE

ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL



UNE APPLICATION À DESTINATION DES GESTIONNAIRES D'AMP

(Le Doeuff, 2025)



At stake area for
MPA managers



**MERCI
DE VOTRE
ATTENTION**