

Comparer le paradigme spatial et spatio-temporel pour estimer l'évolution d'indicateurs socio-économiques à partir d'images satellites

*Robin Jarry*¹, Marc Chaumont^{1,3}, Laure Berti-Équille² et Gérard Subsol¹

¹LIRMM, Université de Montpellier & CNRS

²Espace-Dev, IRD, UM, UA, UG, UR

³Université de Nîmes

Présentation à la conférence nationale en intelligence artificielle, 2024, la Rochelle

Sur la base des travaux présentés lors de la conférence

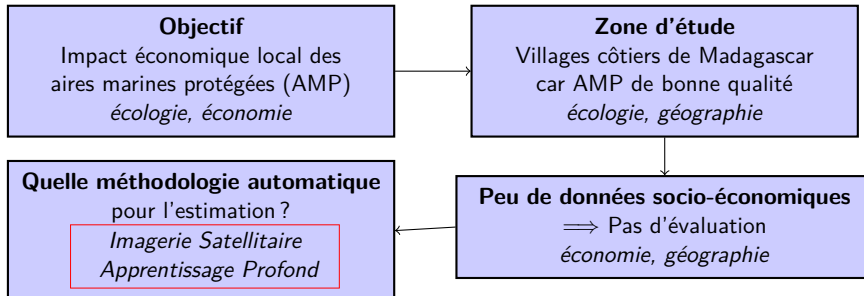
*International Geoscience and Remote Sensing Symposium
2023, Pasadena, California, USA.*

4 juillet 2024



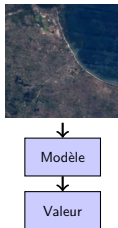
Espace DEV

Projet ANR MPA-Poverty :

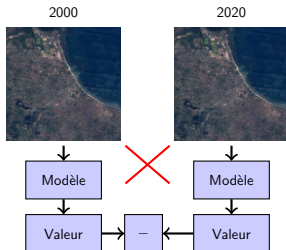


Les travaux existants et notre méthodologie

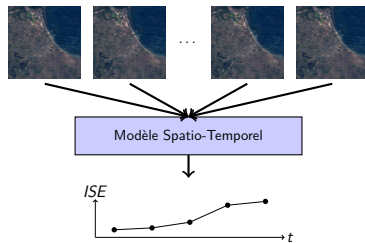
Jean et al. 2016, Science
**Prédiction de
d'indicateurs socio-économiques
(ISE)**



Kondmann et Zhu, 2020, ICLR
Prédiction de la variation d'ISE



Notre méthodologie
Prédiction de l'évolution d'ISE



Travaux existants :

- ▶ Prédiction de la *valeur* d'ISE avec une image satellite et un CNN
- ▶ Prédiction de la *variation* d'ISE entre deux dates par soustraction

Notre méthodologie :

- ▶ Prédiction de l'*évolution* d'ISE à partir d'un modèle *spatio-temporel*

Utilisation de l'apprentissage *supervisé*

Jeu de données :



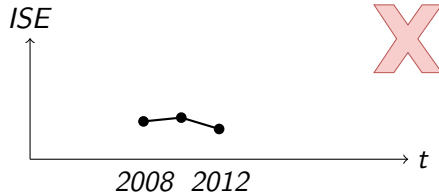
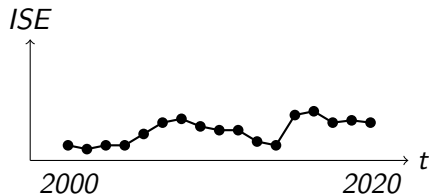
**Peu de pays
recensés**

**Pas assez
d'observations**

**Durées trop courtes
et peu de revisite**



Espace DEV



Notre alternative : utiliser l'*intensité lumineuse nocturne*

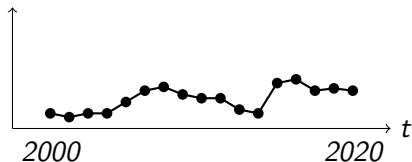


Espace DEV

L'*intensité lumineuse nocturne* (ILN) :

- ▶ est un *proxy* bruité de plusieurs ISE
- ▶ couvre le monde entier
- ▶ est disponible à partir de 1990
- ▶ a une résolution temporelle d'un an

~~ISE~~ILN



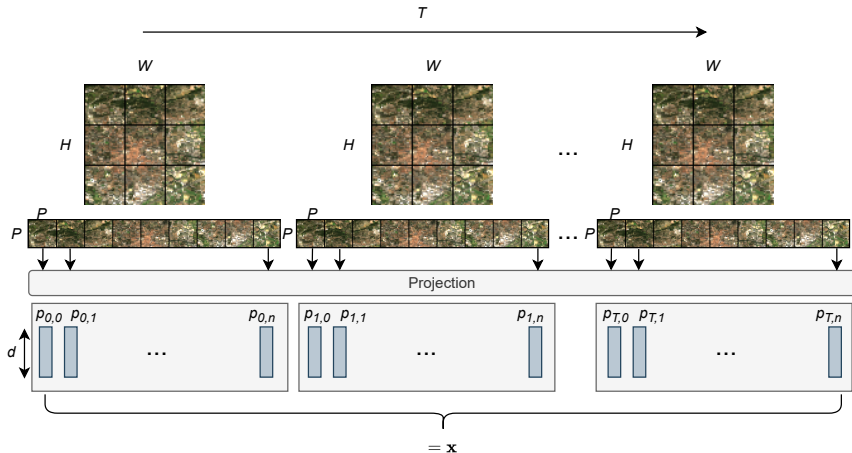
Le *Transformer* analyse des *séquences* et est :

- ▶ introduit pour le *traitement automatique des langues* par Vaswani et al., 2017
- ▶ adapté aux *images* par Dosovitskiy et al., 2020
- ▶ adapté aux *vidéos* par Arnab et al., 2021
- ▶ adapté aux *séries temporelles* d'images *satellites* par Rußwurm et Körner, 2020
 - ▶ mais en fait, aux séries temporelles de pixels d'images *satellites*...

Notre proposition :

- ▶ utiliser le *Transformer* pour de « vraies » séries temporelles d'images *satellites*
 - ▶ proposée récemment par Tarasiou et al. 2023

Découpage en patches et projection



Le mécanisme d'attention du *Transformer*



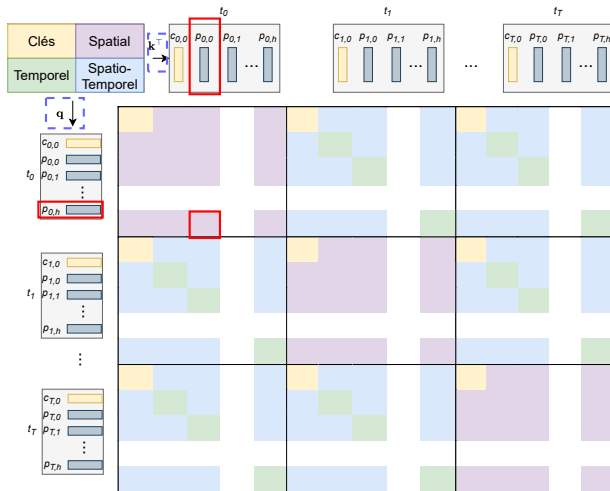
Espace DEV

□ représentation de $\mathbf{x}$ en *query* et *key*

► Calcul du produit $\mathbf{A} = \mathbf{qk}^\top$

► Calcul de $\mathbf{x}^{(l+1)} = \text{softmax}\left(\frac{\mathbf{A}}{\sqrt{d}}\right) \mathbf{v}$

► $\mathbf{v}$ est la représentation *value* de $\mathbf{x}$

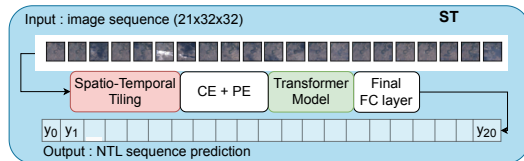


Comparaison *spatial* vs *saptio-temporel*

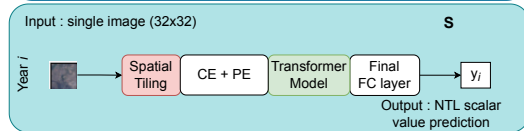


Espace DEV

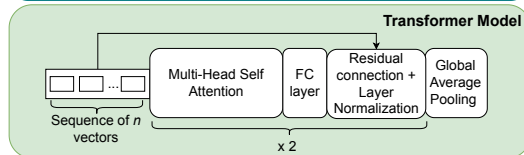
► *spatio-temporal Transformer (ST)*



► *spatial Transformer (S)*



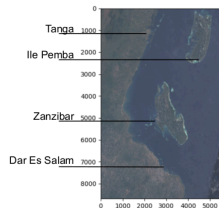
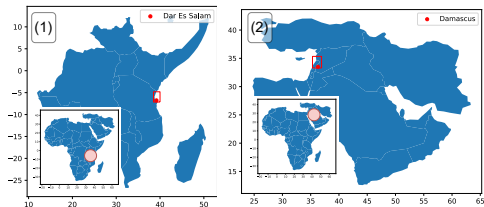
► *architecture Transformer*



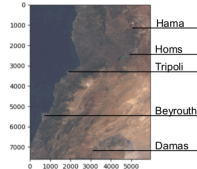
Zones d'études et création du jeu d'apprentissage



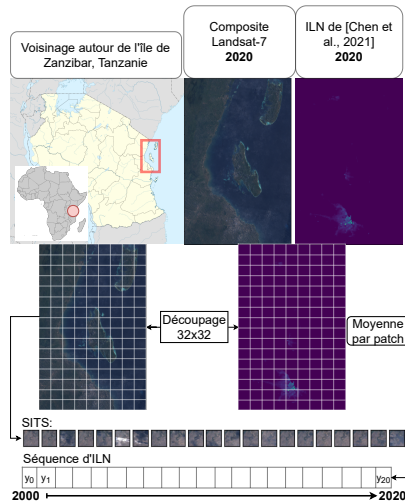
Espace DEV



Zanzibar



Syrie



Parenthèse sur la résolution des images : la Rochelle, 1987



EV



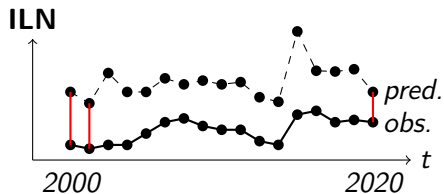
Parenthèse sur la résolution des images : la Rochelle, 1989



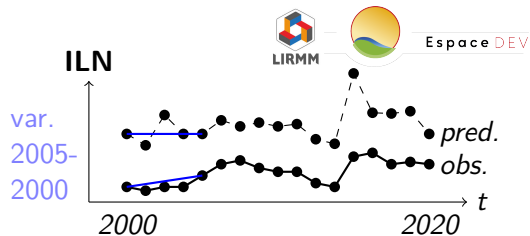
EV



Évaluation des modèles



scores *par année*



scores *par variation*

scores :

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N |y_i - \hat{y}_i|$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}$$

Score		$MAE \downarrow (1)$	$R^2 \uparrow (1)$	$MAE \downarrow (2)$	$R^2 \uparrow (2)$
Par année	ST	$0.085^{\pm 0.010}$	$0.695^{\pm 0.063}$	$1.011^{\pm 0.061}$	$0.543^{\pm 0.014}$
	S	$0.098^{\pm 0.008}$	$0.591^{\pm 0.040}$	$1.262^{\pm 0.104}$	$0.431^{\pm 0.028}$
$\Delta t = 1$	ST	$0.033^{\pm 0.002}$	$0.123^{\pm 0.062}$	$0.453^{\pm 0.020}$	$0.128^{\pm 0.010}$
	S	$0.087^{\pm 0.009}$	$-4.664^{\pm 1.390}$	$0.685^{\pm 0.066}$	$-1.240^{\pm 0.439}$
$\Delta t = 10$	ST	$0.103^{\pm 0.005}$	$0.322^{\pm 0.042}$	$1.083^{\pm 0.043}$	$0.218^{\pm 0.013}$
	S	$0.140^{\pm 0.010}$	$-0.291^{\pm 0.083}$	$1.287^{\pm 0.056}$	$-0.150^{\pm 0.099}$
$\Delta t = 15$	ST	$0.137^{\pm 0.009}$	$0.439^{\pm 0.048}$	$1.069^{\pm 0.041}$	$0.278^{\pm 0.020}$
	S	$0.163^{\pm 0.010}$	$-0.032^{\pm 0.129}$	$1.314^{\pm 0.059}$	$-0.123^{\pm 0.071}$

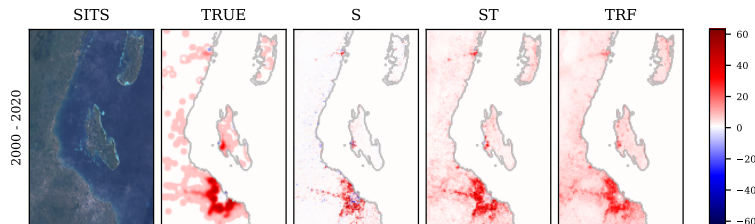
Table – Score MAE et R^2 sur les zones (1) et (2). Les exposants sont les écarts-types sur les cinq plis de validation croisée.

- ▶ Par année : modèles équivalents
- ▶ $\Delta t = 1$: 2 modèles faibles
- ▶ $\Delta t = 10$: $S \ll ST$
- ▶ $\Delta t = 15$: $S \ll ST$
- ▶ ST s'améliore dès que Δt augmente

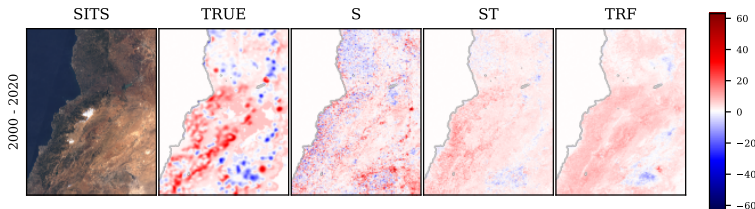
Visualisation des évolutions entre 2000 et 2020



Espace DEV



- × *Modèle spatial* : diminution dans la capitale
- ✓ *Modèle spatio-temporel* : stagnation dans la capitale

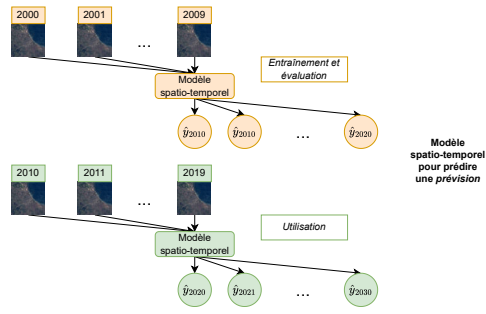
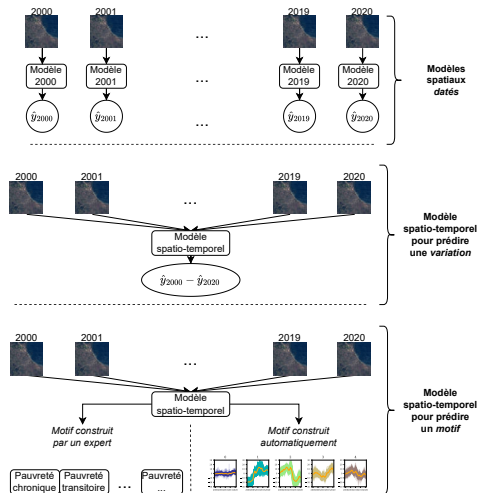


- × *Modèle spatial* : diminutions ponctuelles uniformément réparties
- ✓ *Modèle spatio-temporel* : diminutions qui coïncident avec la vérité terrain

Perspectives



Espace DEV

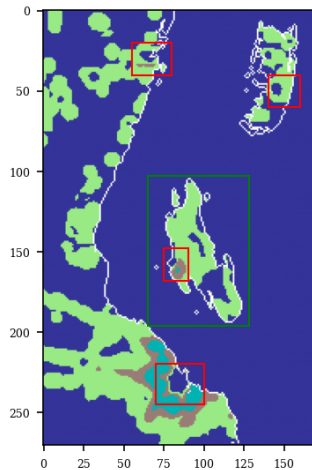
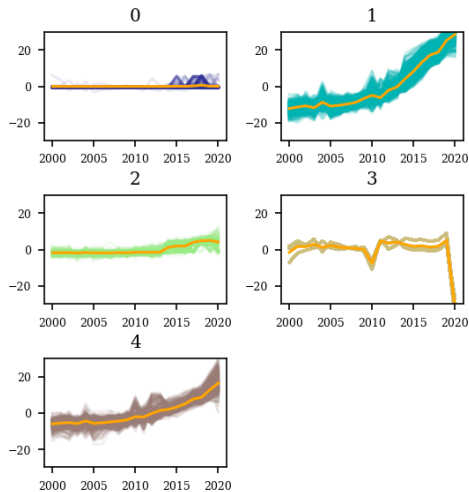




Espace DEV

Merci !

K-moyennes sur les ILN, Zanzibar



0 : #=36903 1 : #=581 2 : #=8315 3 : #=3 4 : #=810

K-moyennes sur les ILN, Syrie

