

# Développer et exploiter l'IA au bénéfice des opérations pour la prévision

Direction des Opérations pour la Prévision (**DirOP**)

Post-traitement des modèles de prévision : **M. Zamo et l'équipe DOP**

Prévision Immédiate : **T. Montmerle et l'équipe PI**

Prévision générale : M. Pardé, T. Lefort

**M. Plu**

*Les Journées de l'Intelligence Artificielle à Météo-France 2026*

*17 et 18 février 2026*

---

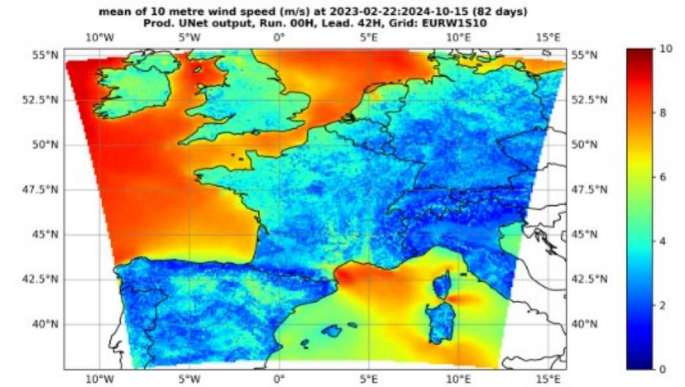
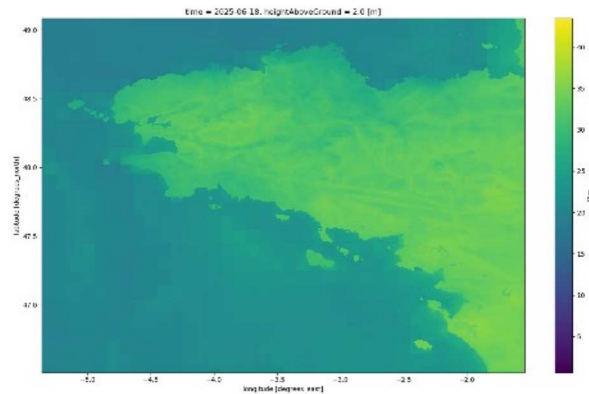
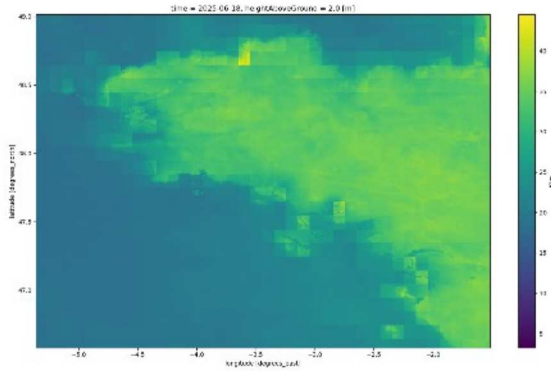
## Plan

1. Les post-traitements des modèles
2. Usage de l'IA comme assistant au codage
3. Prévision immédiate (PI) de précipitations
4. PI pour les objets orageux radar
5. PI du type de nuage
6. Le projet PI-IA
7. Des chaînes de prévision IA : comment ? pourquoi ?

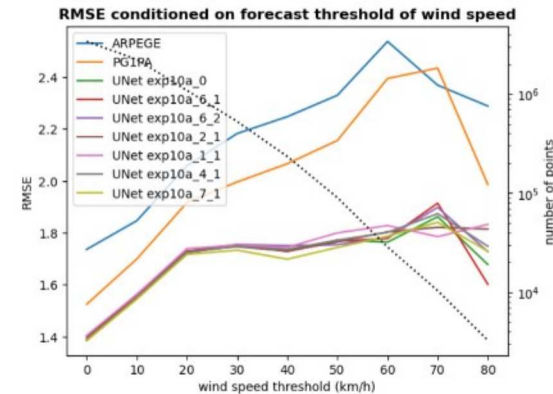
# 1. Les post-traitements des modèles

The latest news :

See presentation during  
 « ateliers prévi/GMAP »  
 2006, January 27th  
 on COM's intranet



10 metre wind speed (m/s) at 2023-02-22:2024-10-15 (82 days)  
 Run. 00H, Lead. 42H, Grid: AROME1S10



# AI as a coding partner

## 3 projects, 3 different roles

## 2. Usage de l'IA comme assistant au codage

### Introduction

AI is not just a code generator, it is a **polymorphic tool** that adapts to the nature of the problem: Translating, Prototyping, Architecting...

Generative AI is changing our relationship with code. It **does not replace logic**, but is presented as a **force multiplier**.

What can we learn from three use cases of increasing complexity?

- \* **Code Translation:** TailCalibration (from R to Python)
- \* **Rapid Prototyping:** grid point clustering (Scripting)
- \* **Complex Architecture:** Sérendipité (Full-Stack)

Tried AI assistants: mainly Gemini3 Pro (paid), a bit of DiNUM's AI assistant and DiNUM's comparia hub

## 2. Usage de l'IA comme assistant au codage **Some references**

« L'IA générative peut stimuler l'innovation – mais uniquement lorsque les humains en gardent le contrôle » <https://theconversation.com/lia-generative-peut-stimuler-linnovation-mais-uniquement-lorsque-les-humains-en-gardent-le-controle-241985> <https://theconversation.com/lia-generative-peut-stimuler-linnovation-mais-uniquement-lorsque-les-humains-en-gardent-le-controle-241985>

« How AI Impacts Skill Formation » <https://arxiv.org/html/2601.20245v1>

« Your Brain on ChatGPT: Accumulation of Cognitive Debt when Using an AI Assistant for Essay Writing Task » [https://collimateur.uqam.ca/wp-content/uploads/sites/11/2025/12/2506.08872v1\\_comp.pdf](https://collimateur.uqam.ca/wp-content/uploads/sites/11/2025/12/2506.08872v1_comp.pdf)

« AI's Impact on Software Development: A CEO's Perspective » <https://www.pragmaticcoders.com/blog/business-guide-to-ai-augmented-software-development>

« How to Use AI in Coding - 12 Best Practices in 2026 » <https://zencoder.ai/blog/how-to-use-ai-in-coding>

« How to Become an Expert in AI-Assisted Coding – A Handbook for Developers » <https://www.freecodecamp.org/news/how-to-become-an-expert-in-ai-assisted-coding-a-handbook-for-developers/>

# Use case: a "Scribe" for code migration

**Project:** TailCalibration (translation of Sam Allen's R package into Python).

**The challenge:** Translate a dense mathematical code from a statistical language (R) toward a general programming language (Python)

**AI role:** bilingual expert

## What Worked:

- **Library Mapping:** The AI knows which specific R function corresponds to which method in SciPy or NumPy in Python.
- **Understanding of Logic:** It doesn't translate word-for-word, but adapts the structure (e.g., vector management vs loops, indexing starting at 0 or 1)
- **Boilerplate code** and scripts were quickly produced.

## Specific Risk (Point of Attention):

Implementation errors. This requires **rigorous checking** with unit tests and **human code reviewing**.

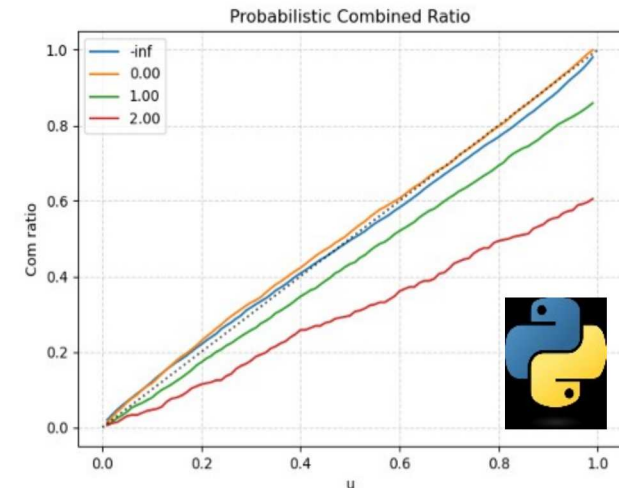
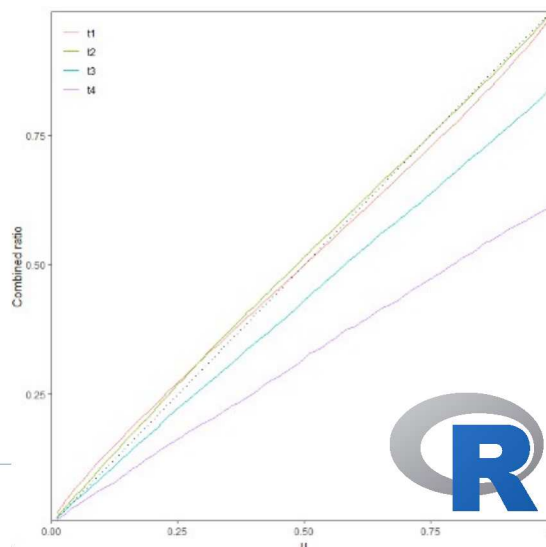


```
if q <= a or q >= b: res = np.nan
```



```
mask = (y <= a) | (y >= b)
if return_na:
    pit = pit.astype(float)
    pit[mask] = np.nan
```

17/02/2026



# Use case : The "Worker" for Rapid Prototyping

**Project:** Dynamic Classification of Grid Points

**Challenge:** Writing code for which the logic was already defined by a human

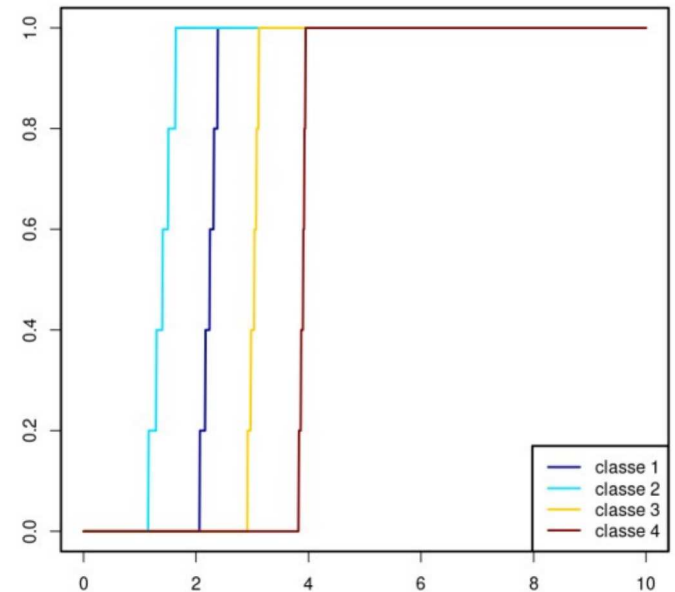
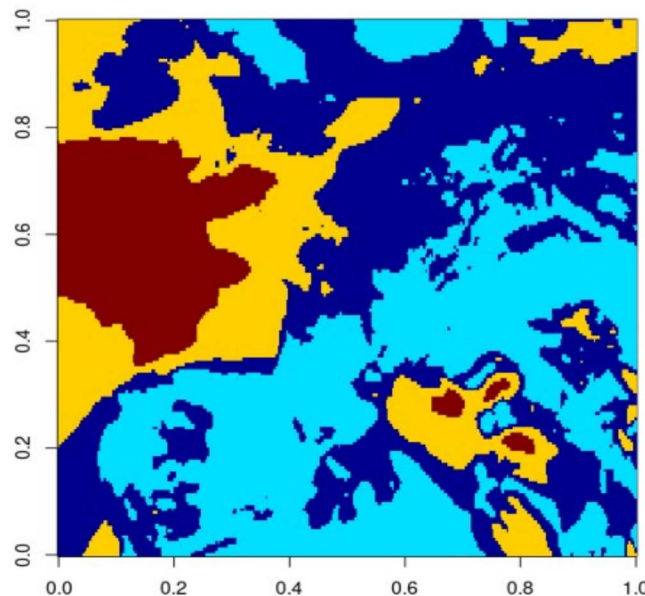
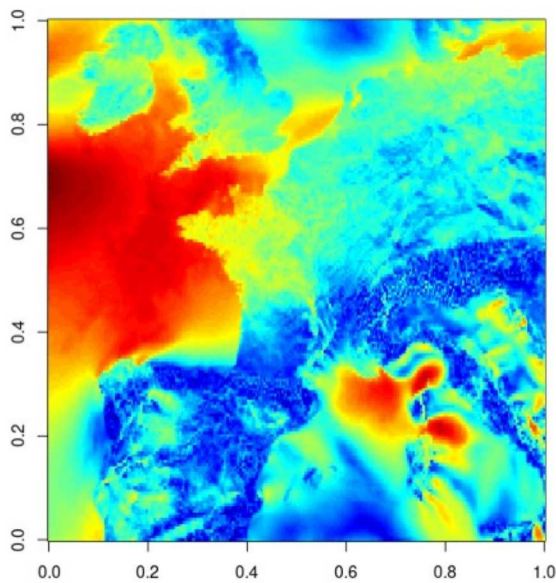
**Role of AI:** Fast Executor

## What Worked:

**Strict adherence to specifications...** after a few brief clarifications

**Quick and easy code design and evolution:** scientific optimization, parallelization « by hand » made easy, and addition of quality metrics (guided by reference scientific articles ingested by the AI)

**Key Advantage:** Time savings and code compliant with "best practices"



# Use case: The "Architect" for Full-Stack

**Project:** Serendipity (A web application for randomly drawing RSS articles).

**The Challenge:** Designing a complex system (database, backend, frontend).

**Role of AI:** CTO / Senior Architect + Fast Executor

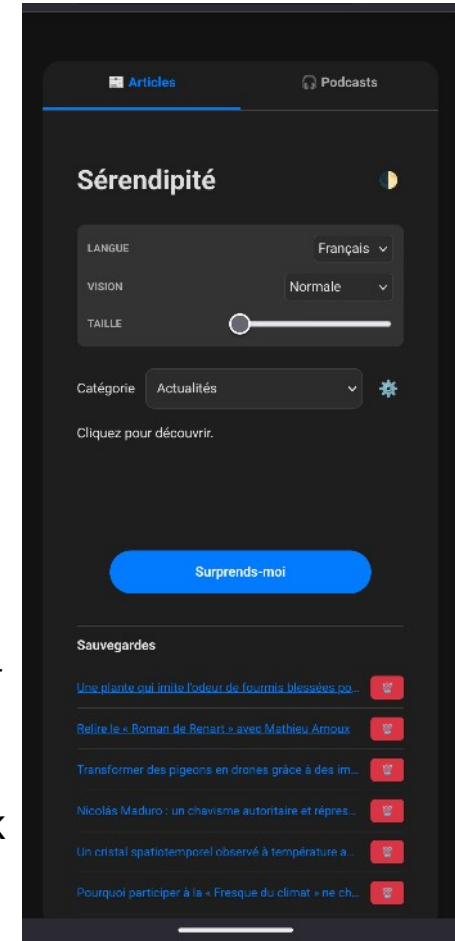
## What Worked:

- **Technological Choices:** Suggested infrastructure (pyDroid, pyAnyWhere, Render, Neon) and tools (Flask) that I was not familiar with or did not master.
- **Database Design/Evolution made easy**
  - Minor: Adding accessibility features (colorblind mode) and security (Basic Auth).
  - Major: Database administration in a few prompts, implementing a "Podcast" feature without breaking existing functionality

**Key Advantage:** Enables tackling unknown domains (website creation, database management) with confidence and learn from it (« immediate generation of a Flask backend to bypass CORS issues »)

## Specific Risk (Point of Attention):

- AI may forget previous constraints. **Human** must be aware of the overarching goal and logic to keep project on its trajectory.
- **Security issues** : must be specified... and assessed.



## 2. Usage de l'IA comme assistant au codage

### Take-away points

#### Breakdown of Key Points from the Sources:

- **Benefits:** Faster development cycles, automated boilerplate, assistance with complex architecture, and suggestions for niche libraries.
- **Drawbacks/Dangers:** "*Cognitive debt*" leading to skill degradation, potential for subtle logical errors (requiring intensive testing), and a risk of accepting AI-generated code without sufficient understanding.
- **Opportunities:** Increased efficiency, exploration of unfamiliar domains (with pedagogical explanation from AI), and a focus on higher-level strategic decisions.
- **Recommendations (from the sources):** Become rigorous reviewers, prioritize understanding the why behind AI suggestions, and ***adopt a mindset of augmentation rather than replacement.***

# Conclusion

## 2. Usage de l'IA comme assistant au codage

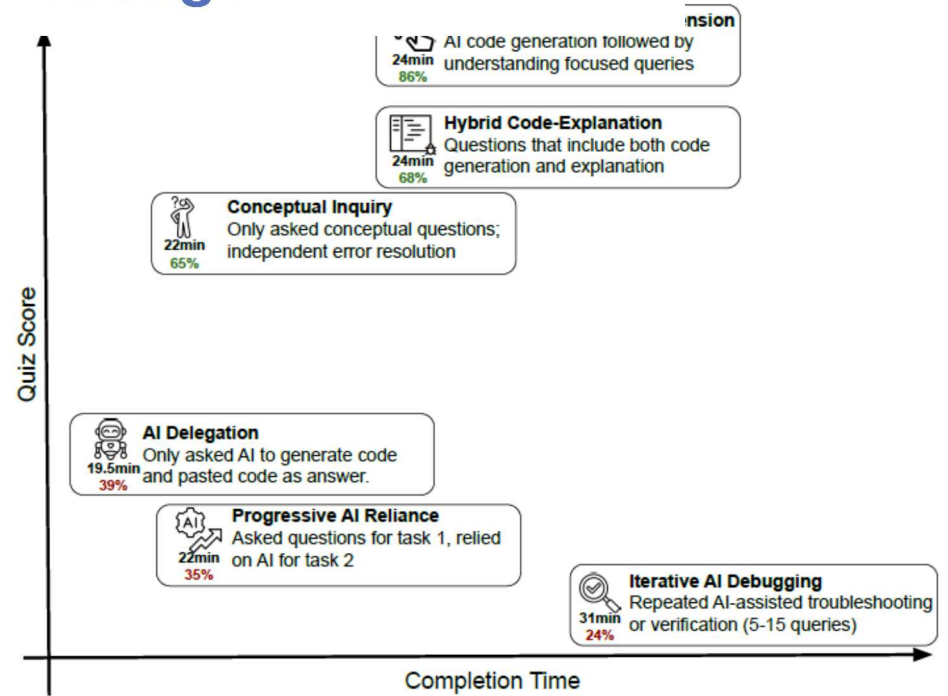
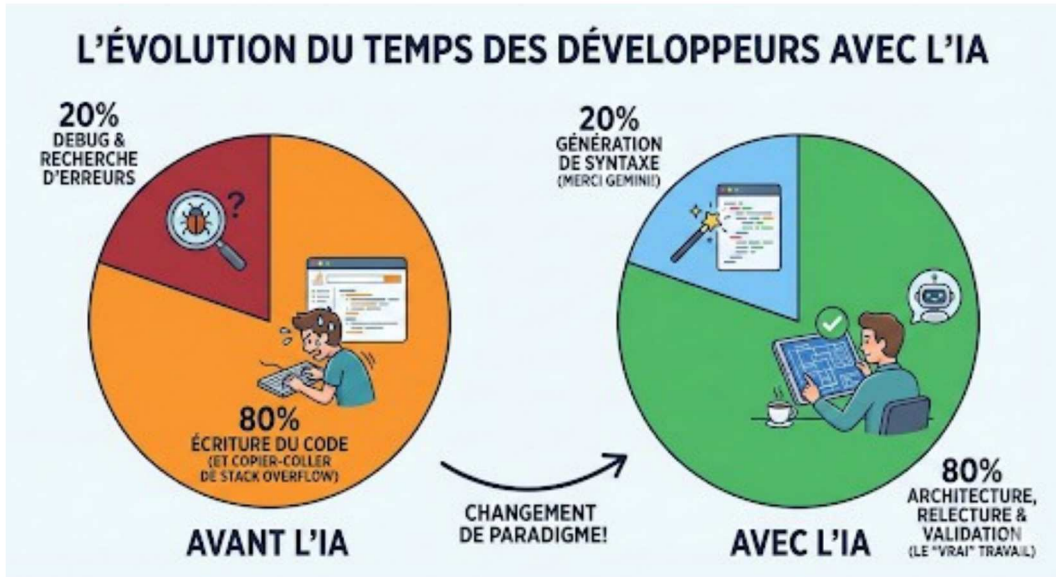


Figure 11: The 6 AI interaction personas in the treatment (AI) condition from our study with average completion times and quiz scores.

**The nature of work is evolving... and (sometimes) its duration.**

Example for a (simple) statistical modeling project:

- By hand: ~15-20 minutes
- With an AI assistant: ~3 minutes

**Continuous training *may* be made easier and... necessary.**

## Prévision immédiate (PI)

3. Prévision immédiate (PI) de précipitations
4. PI pour les objets orageux radar
5. PI du type de nuage
6. Le projet PI-IA

### 3. PI des précipitations

- **La PI des précipitations est au cœur de plusieurs productions clés de DirOP/PI :**  
« Pluie dans l'Heure », PIAF-RR (déterministe, utilisé notamment pour le forçage de modèles hydrologiques et par le « Radar Expert »), PIE (PIAF ensembliste pour compléter l'information APIC)
- Leurs données d'entrée sont des lames d'eau ANTILOPE (DSO/MSO/PPC)
- **Plusieurs modèles d'IA ont été testés depuis 2022 en collaboration avec DSM/LabIA :**

Modèle	Type	Données d'entraînement	Echéance	Référence
<b>DeepLabv3+</b>	CNN	<b>2 ans de LE 5' SERVAL</b>	2h : 24x5'	Chen et al. 2018 (DeepMind Google)
<b>LDCast</b>	Diffusion	LE sur la Suisse	100'x2 par récursivité	Leinonen et al. 2023 (MeteoSwiss)
<b>DGMR</b>	GAN	LE sur le R-U <b>LE SERVAL (test)</b>	90'x2 par récursivité	Ravuri et al. 2021 (DeepMind Google)
<b>NowCastNet</b>	GAN +Physique	LE sur les US et sur la Chine	90'x2 par récursivité	Zhang et al. (2023)

Tous ces modèles utilisent les 4 dernières LE 5min ANTILOPE pour leur inférence

## 3. PI des précipitations

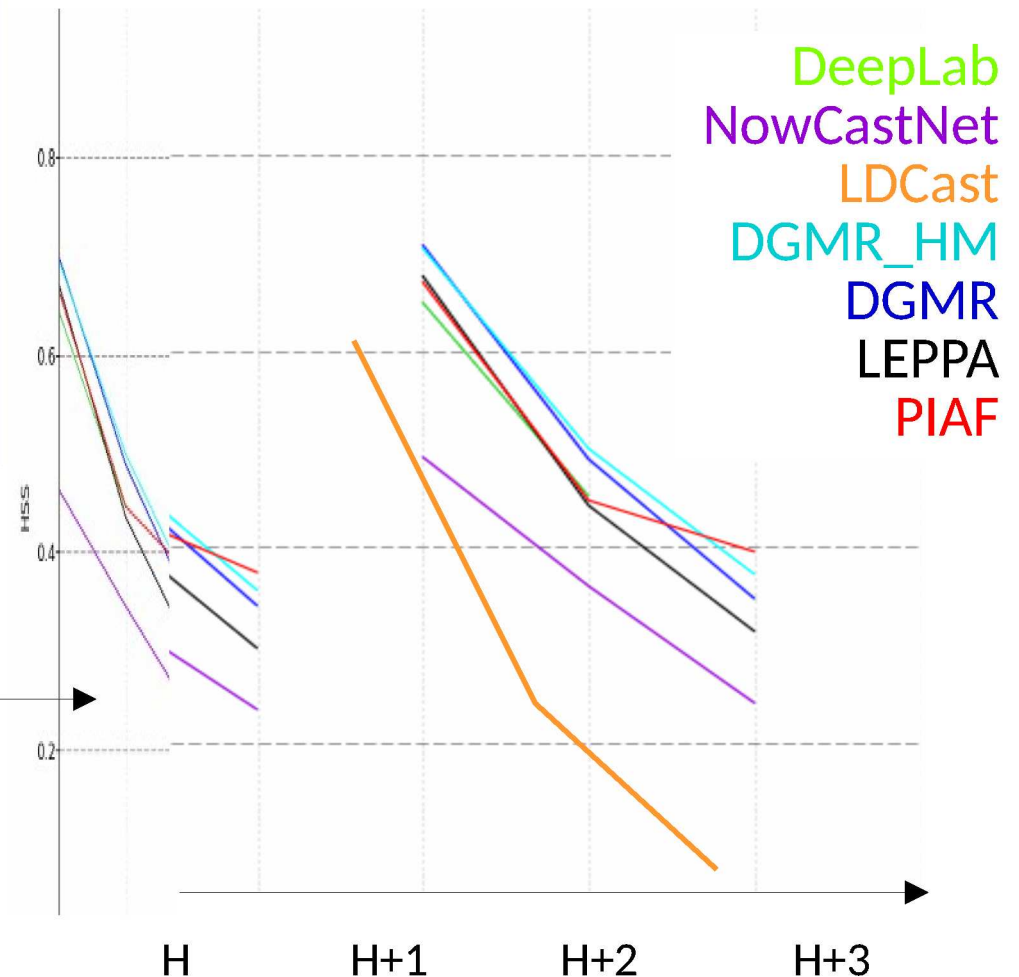
### → DGMR\_HM : adaptation de DGMR

- constitué de 2 inférences couvrant la métropole
- avec post-traitement par histogram-matching (comme DeepLabV3+), pour corriger l'amplification des biais des forts cumuls

### Pour des inférences horaires calculées sur 2024 :

- les meilleures performances sont obtenues par DGMR\_HM
- La PN (AROME-PI dans PIAF) montre les meilleurs résultats à 3h d'échéance

Heidke Skill Score – RR1h  $\geq$  2mm/h  
Février → dec 2024



## 3. PI des précipitations

### Vers un DGMR « MF » ?

- Plusieurs tentatives infructueuses au LabIA et à PI de fine-tuning d'une version Pytorch opensource sur plusieurs années de LE SERVAL, pour cause de ressources de calcul insuffisantes
- Reprise des apprentissages sur les nouveaux GPU au LabIA

### DGMR\_HM

- Problème de souveraineté : ne peut pas être utilisé pour des usages commerciaux
- Aucun fine-tuning possible depuis le checkpoint fourni par DeepMind
- Cependant, dans une optique de test et de mise à disposition en interne, **DGMR\_HM est en intégration SOPRANO depuis janvier**

### 3. PI des précipitations

Prévisions de DGMR\_HM en intégration visualisables [sur le Confluence DirOP/PI](#), en temps quasi-réel et avec un mise à jour toutes les 15 min :

DGMR\_HM

ANTILOPE

## 4. PI pour les objets orageux Radar

25/06/2025 17UTC

### Détection des MCS

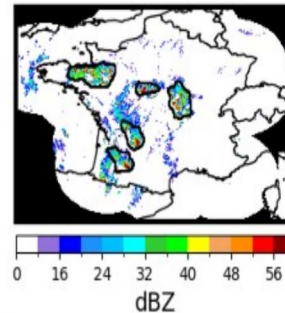
- Application d'un U-Net aux images de réflectivités et de Tb IR SEVIRI observées et simulées par AROME
- Apprentissage sur une base d'objets labellisés à la main (approche A. Mounier)
- Stage EMI en cours avec PG/Labo pour un application à la PEARO

Affichage en quasi temps-réel des MCS détectés dans les derniers runs AROME-PI et AROME-FR, disponibles [sur cette page du Confluence PI](#)

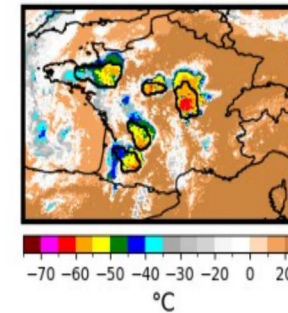
ARO-PI 16 UTC +01h00



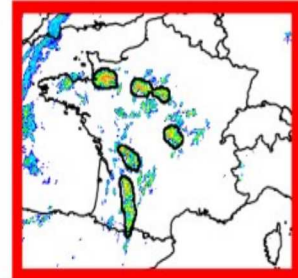
Rflc radar



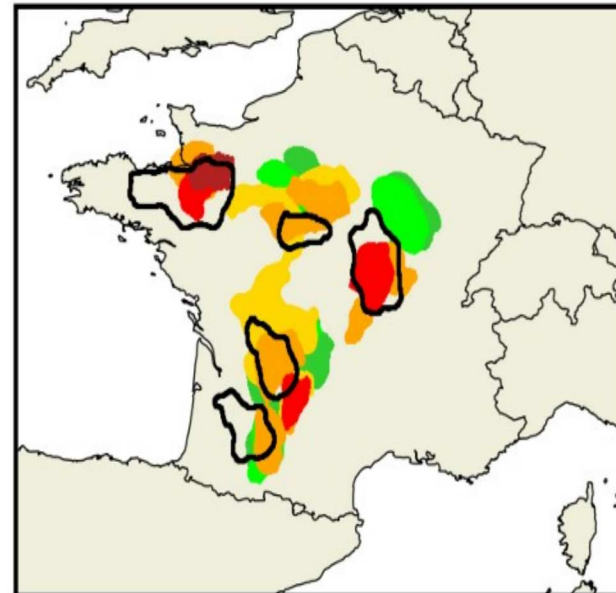
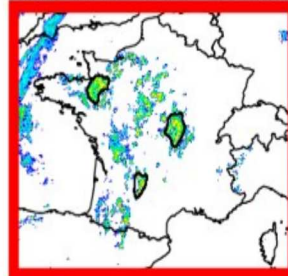
TB IR satellite



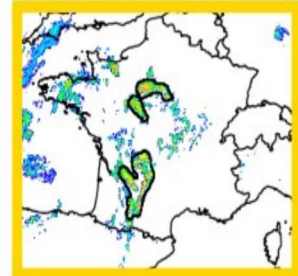
ARO-Fr 12 UTC +05 h



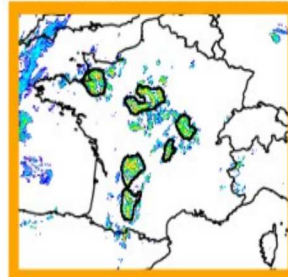
ARO-PI 15 UTC +02h00



ARO-Fr 09 UTC +08 h



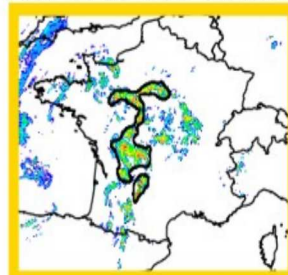
ARO-PI 14 UTC +03h00



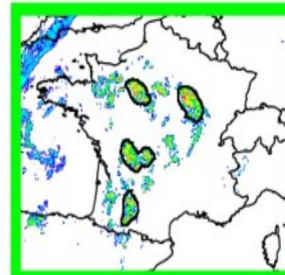
ARO-Fr 06 UTC +11 h



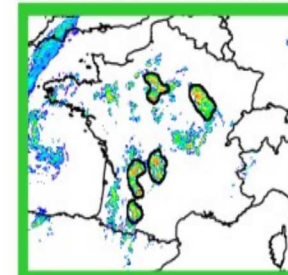
ARO-PI 13 UTC +04h00



ARO-PI 12 UTC +05h00



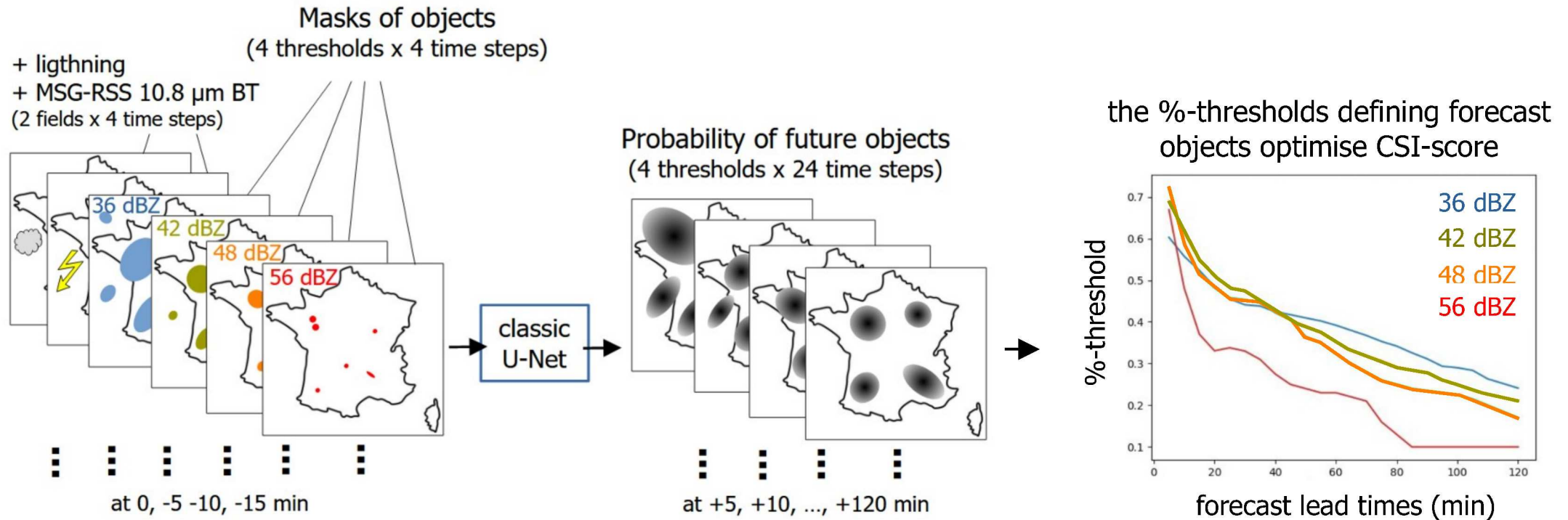
ARO-PI 11 UTC +06h00



## 4. PI pour les objets orageux Radar

### PI des contours d'objets orageux ([0→2h], pas de 5min)

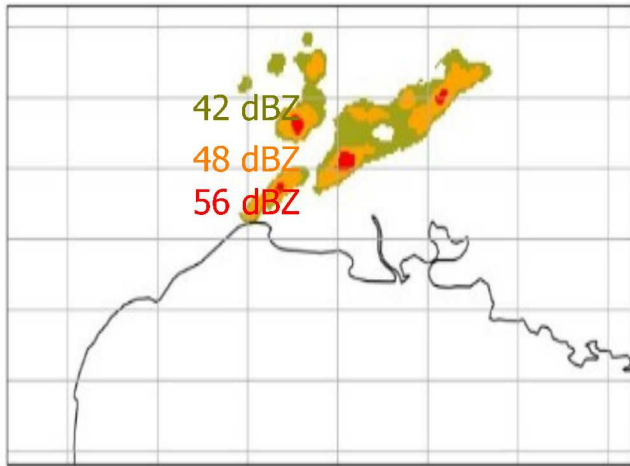
- PFE de R. Rohr en 2024, co-encadré par le LabIA (Léa Berthomier)
- Apprentissage sur 2 ans d'objets orageux OPIC pour 4 niveaux de violence, de Tb IR SEVIRI et de données foudre,
- Application d'un seuil optimisé en fonction de l'échéance des inférences :



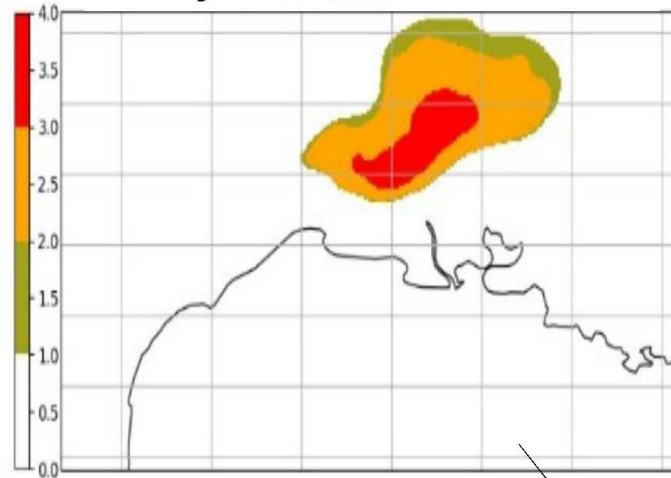
## 4. PI pour les objets orageux Radar

Exemple du 6 septembre 2022

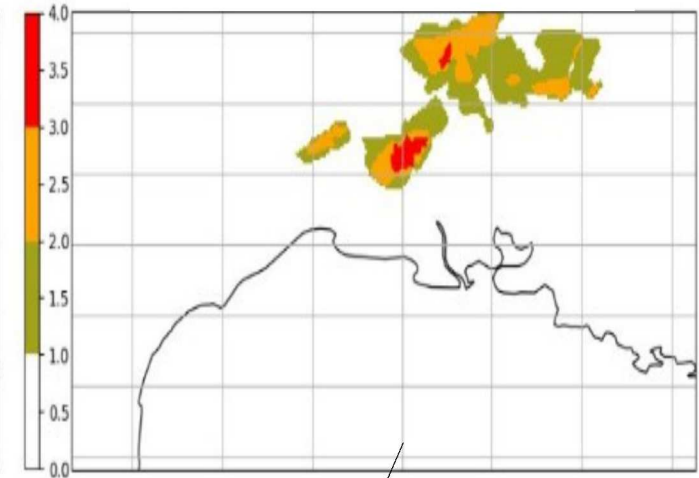
Objets observés à  
t+60 min



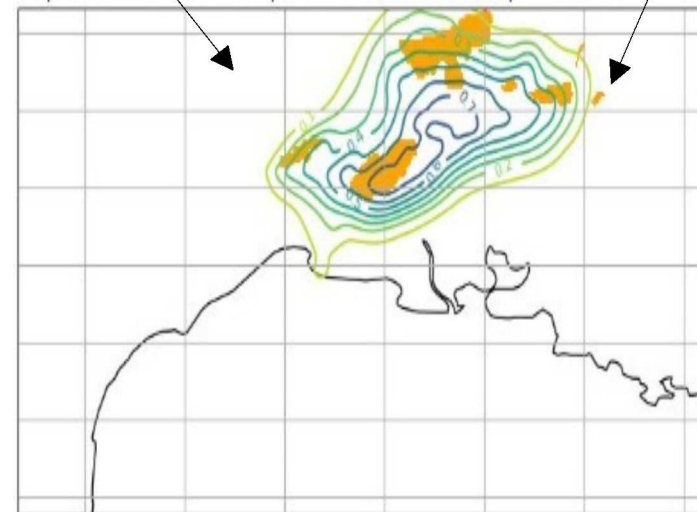
Inférence du U-Net pour les  
objets 48-dBZ à t+60 min



Prévision des contours à  
t+60 min



- Les inférences du U-Net doivent être interprétées comme des probabilités de risque d'occurrence
- Cette approche apparaît comme complémentaire de l'advection déterministe du contour

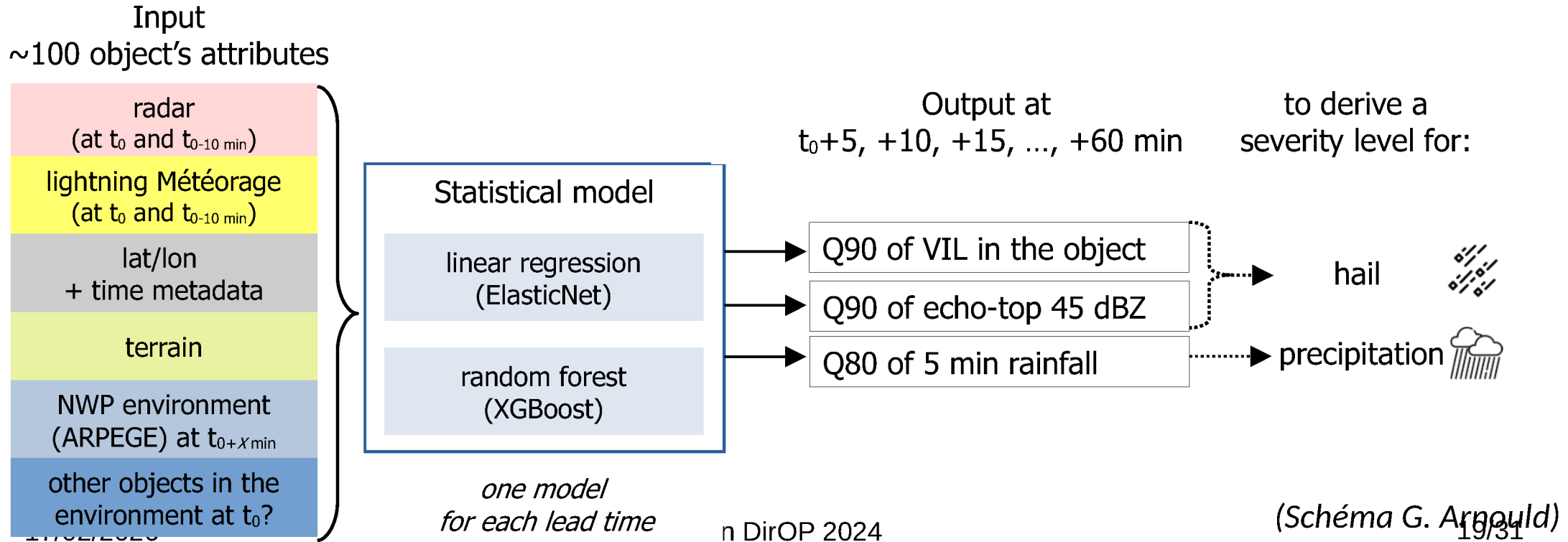


Prévision  
déterministe  
à 48-dBZ  
+  
Probabilité U-  
Net

## 4. PI pour les objets orageux Radar

### PI des niveaux de violence d'objets orageux ([0→1h], pas de 5min)

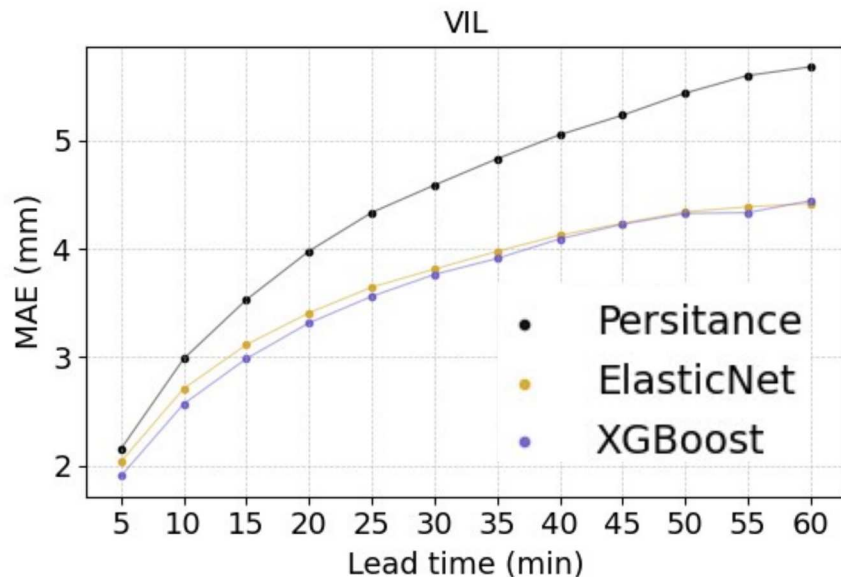
- Stage de M2 en 2025 d'Enzo Pottez
- Apprentissage à partir d'une centaine d'attributs d'objets OPIC (morphologiques, obs, PNT ...) et de leur tendance au cours du cycle de vie de l'orage
- Plusieurs régressions et modèles de ML testés
- (Approche similaire en cours de test pour détecter le CI (Convection Initiation) à partir de données satellites)



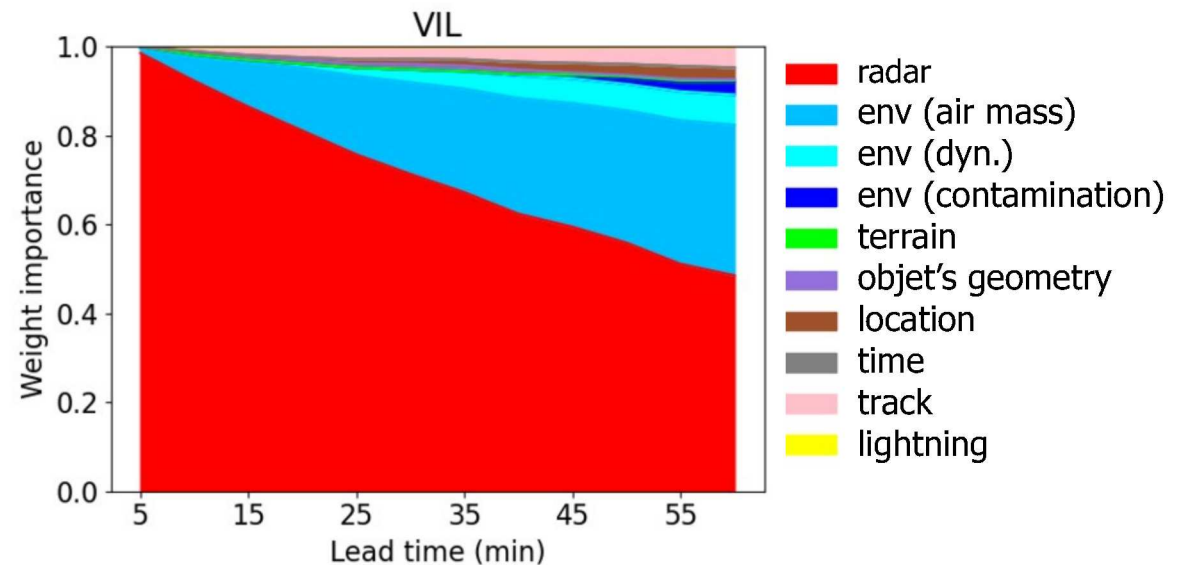
# PI pour les objets orageux Radar

Résultats pour le VIL (conclusions similaires pour l'écho-top 45 dBZ et la LE 5 min) :

Scores sur les données de test



Importance des prédicteurs dans l'ElasticNet



Résultats très intéressants pour simuler les phases de croissances, mais moins bon pour les phases de déclin, sous-échantillonnées dans les bases

## 5. PI du type de nuage : PI-Nébul

- **Global**, [0→2h], pas de 15min
- **Utilise un U-Net entraînés sur des images du Cld-Type du SAFNWC**
- **Production oper** mise en place par DSM/LabIA, MCO à DirOP/PI
- En 2025 : adaptations à MTG et à de nouvelles fréquences HIMAWARI et GOES
- utilisée par AIRBUS D&S pour l'optimisation de photos satellites

Obs

AI

Extrapolation (EXIM)

## 6. Projet PI-IA

Comme on le voit, la PI se base :

- sur des données spatialisées et in-situ diverses, observées et simulées, dont l'établissement possède des archives très conséquentes et de bonne qualité,
- sur des productions fréquentes nécessitant des temps de calcul très courts.

→ Ses thématiques en font donc un très bon candidat pour l'IA

Les objectifs de PI-IA sont décrits dans la lettre de mission publiée cet automne :

- **améliorer les productions et services basés sur la PI grâce à l'IA ,**
- **développer des systèmes souverains pour de nouveaux besoins** sur la métropole dans un 1<sup>er</sup> temps,
- répondre à ces besoins en exploitant au mieux les observations disponibles en temps réel, combinés, si besoin, à des données de modélisation.

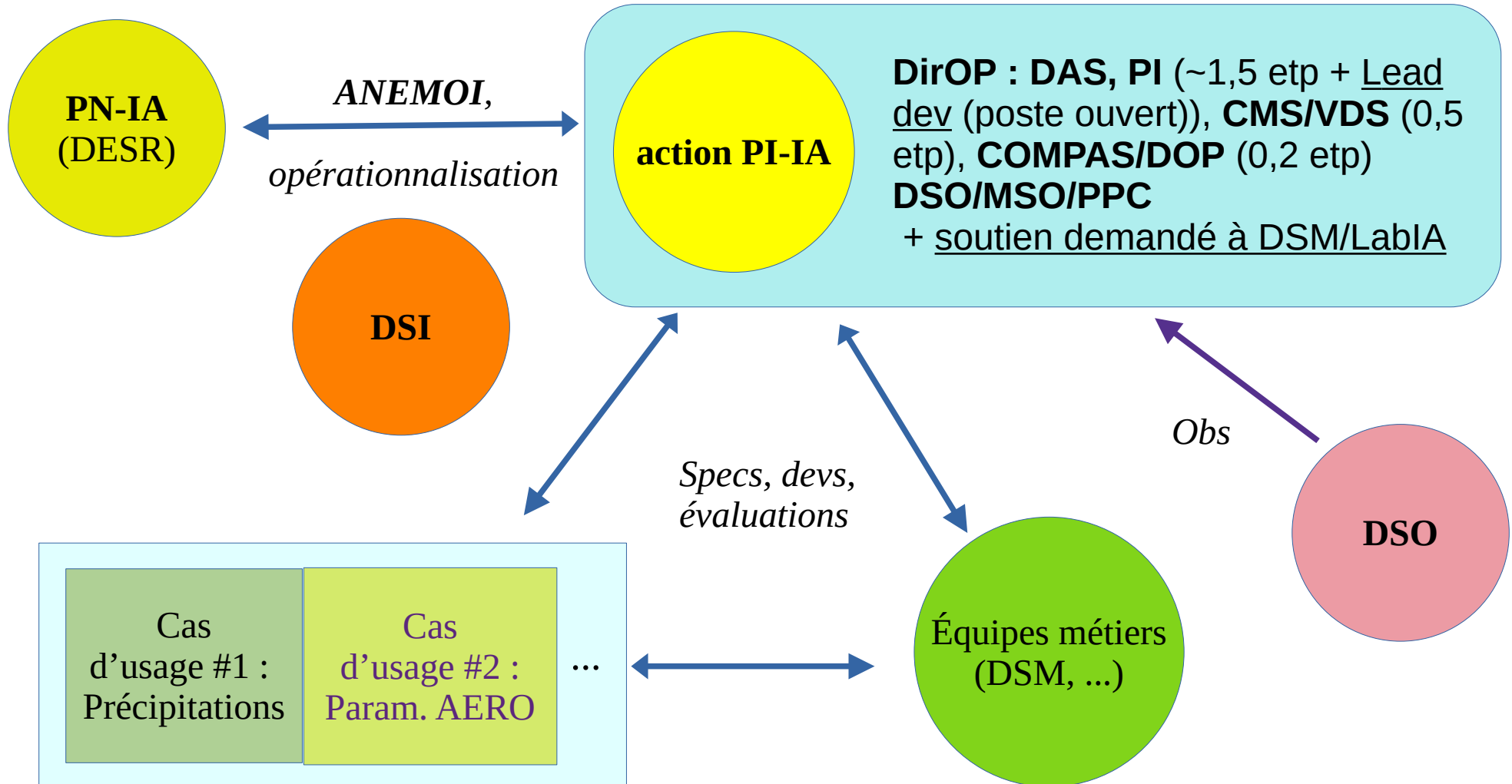
→ Cadre logiciel choisi : ANEMOI

## 6. Projet PI-IA

### Pourquoi Anemoi ?

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Se base sur une architecture de type GRAPH</b>, permettant de traiter conjointement des jeux de données de localisations diverses</li><li>• <b>permet de bénéficier des développements continus effectués au CEPMMT</b> et dans d'autres SMN européen (Graph-DOP par ex),</li><li>• <b>permet de capitaliser sur l'expérience de la DESR dans le cadre de PN-IA</b> et d'envisager des procédures d'opérationnalisation communes</li><li>• À terme, permet d'envisager un « seamless RUC », de la PI à la moyenne échéance</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Ne permet pour l'instant que des inférences par pas de 6h</b> : nécessite un certain nombre d'adaptations aux besoins de la PI, dont l'infra-horaire</li><li>• <b>Les différentes applications actuelles sont des « fine-tuning » de AIFS</b>. Pour PI-IA, les apprentissages se feront à partir de zéro</li><li>• Pour certaines applications, il sera probablement nécessaire <b>d'y implémenter de nouveaux modèles</b> (GAN par ex.)</li></ul>

## 6. Projet PI-IA



**Objectifs pour 2026** : mettre en place l'équipe technique, faire un démonstrateur pour le cas d'usage #1, finaliser les specs pour le 2<sup>e</sup>