

# Les incertitudes des prévisions météorologiques et les prévisions d'ensemble

Laure RAYNAUD

Météo-France, Centre National de Recherches Météorologiques

Séminaire MODELIA, 6 Octobre 2023



# Introduction

- Les prévisions météorologiques ont beaucoup progressé, mais elles restent **imparfaites** et **incertaines**
- Le caractère incertain est désormais affiché : on communique une **confiance** (bonne ou limitée) dans les prévisions qu'on annonce, ou bien on présente **plusieurs scénarios possibles**
- D'où vient cette incertitude, est-il possible de la contrôler, ou à défaut de l'estimer ?
- Comment communiquer cette incertitude, quelle information en tirer pour la **prise de décision** ?

# 1 - Quelle mécanique derrière les prévisions du temps ?

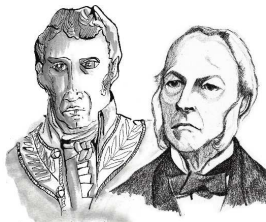
La **prévision numérique du temps** consiste à prévoir l'état futur de l'atmosphère par le biais de modèles mathématiques et physiques.

# 1 - Quelle mécanique derrière les prévisions du temps ?

La **prévision numérique du temps** consiste à prévoir l'état futur de l'atmosphère par le biais de modèles mathématiques et physiques.

Elle s'appuie sur :

- une connaissance précise des lois selon lesquelles un état de l'atmosphère se développe à partir de l'état précédent  
⇒ **Système de Navier-Stokes**
- une connaissance précise de l'état de l'atmosphère à l'instant où la prévision est initialisée.

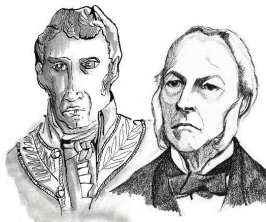


# 1 - Quelle mécanique derrière les prévisions du temps ?

La **prévision numérique du temps** consiste à prévoir l'état futur de l'atmosphère par le biais de modèles mathématiques et physiques.

Elle s'appuie sur :

- une connaissance précise des lois selon lesquelles un état de l'atmosphère se développe à partir de l'état précédent  
⇒ **Système de Navier-Stokes**
- une connaissance précise de l'état de l'atmosphère à l'instant où la prévision est initialisée.



Lois  
d'évolution ⇒  
Etat initial à  $t_0$  ⇒



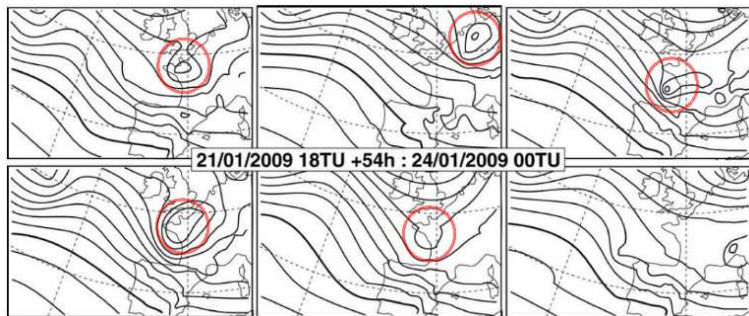
⇒ **Prévisions**  
à  $t_0 + \delta t$



# 1 - La prévision opérationnelle

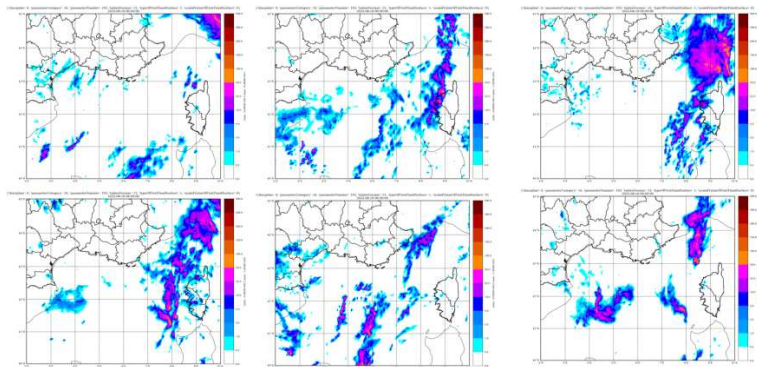
- ▷ Les modèles de prévision opérationnels se sont développés dès les années 1950
- ▷ Progrès constants depuis : améliorations des modèles, augmentation du nombre d'observations, augmentation de la puissance de calcul *etc.*
- ▷ Mais des sources d'incertitude demeurent ...
  - **État initial** : il est impossible de le connaître précisément en chaque point du globe et de l'atmosphère terrestre
  - **Modèle** : représentation imparfaite du comportement de l'atmosphère
  - **Couplages à d'autres modèles** (surface, océan, chimie, ...)
- ▷ **De l'état initial à la prévision la plus lointaine l'information météorologique se trouve entâchée d'incertitude.**

# 1 - L'incertitude au quotidien



▷ 6 prévisions réalisées à partir de 6 conditions initiales très semblables : les petites différences sont devenues de grands écarts ...

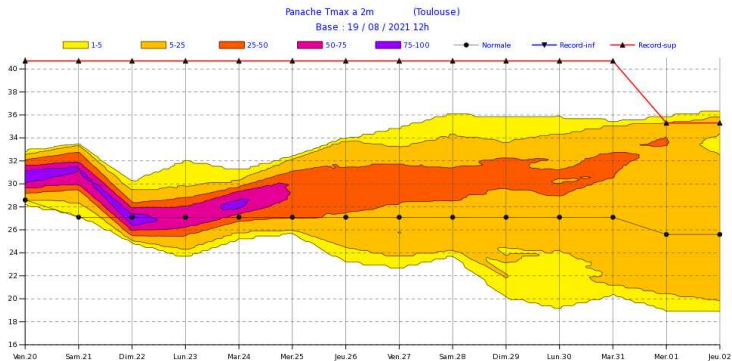
# 1 - L'incertitude au quotidien



▷ 6 prévisions de précipitations, valides au même instant.



# 1 - L'incertitude au quotidien



▷ L'incertitude augmente avec l'échéance de prévision.

# 1 - Limites de la prévision déterministe

## Horizon de prévisibilité

- ▷ L'atmosphère est un système **chaotique**
- ▷ Des prévisions initialement voisines divergent au bout d'un certain temps, appelé **horizon de prévisibilité**
- ▷ Il dépend notamment de l'échelle du phénomène auquel on s'intéresse
- ▷ Exemples : dépression 2-3 jours, orages quelques heures

# 1 - Limites de la prévision déterministe

## Horizon de prévisibilité

- ▷ L'atmosphère est un système **chaotique**
- ▷ Des prévisions initialement voisines divergent au bout d'un certain temps, appelé **horizon de prévisibilité**
- ▷ Il dépend notamment de l'échelle du phénomène auquel on s'intéresse
- ▷ Exemples : dépression 2-3 jours, orages quelques heures

## Toute tentative de prévision lointaine est-elle vouée à l'échec ?

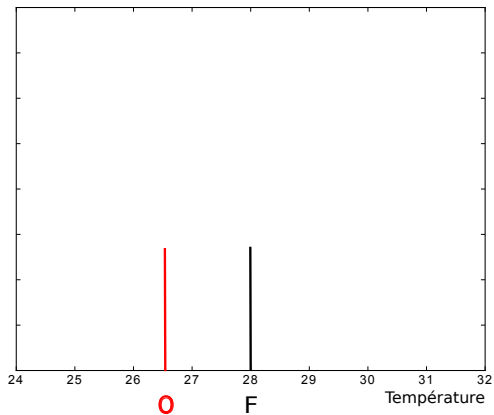
- ▷ Au-delà de cet horizon de prévisibilité la prévision météorologique n'a de sens que si l'on considère l'incertitude qui lui est associée
- ▷ L'incertitude est donc une information à part entière qu'il convient d'estimer
- ▷ Pour cela une **approche probabiliste** devient nécessaire.

# Plan

- 1 Les prévisions du temps et leurs incertitudes
- 2 L'approche probabiliste de la prévision du temps**
- 3 La prévision d'ensemble à Météo-France

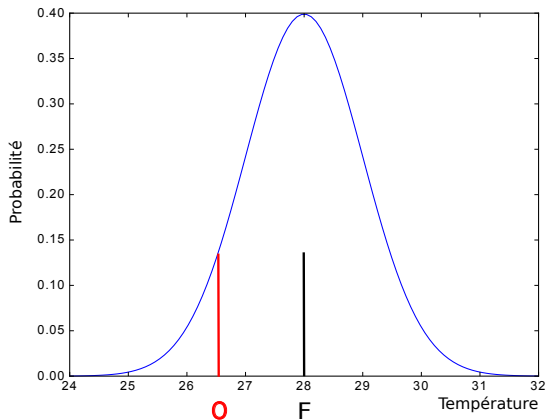
## 2 - Prédiction probabiliste

▷ La prédiction **déterministe** fournit l'état le plus probable de l'atmosphère



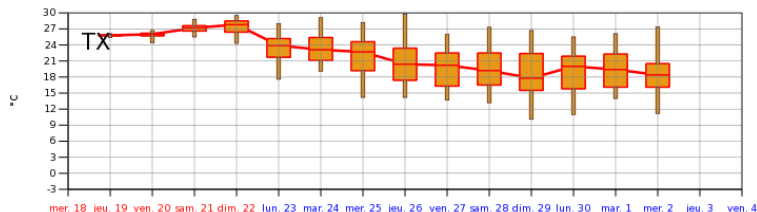
## 2 - Prédiction probabiliste

- ▷ La prédiction **déterministe** fournit l'état le plus probable de l'atmosphère
- ▷ La prédiction **probabiliste** fournit la distribution de probabilité de l'état de l'atmosphère



## 2 - Prédiction probabiliste

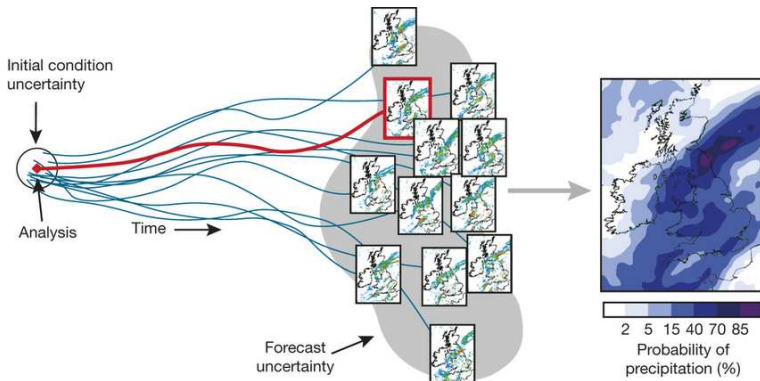
- ▷ La prédiction **déterministe** fournit l'état le plus probable de l'atmosphère
- ▷ La prédiction **probabiliste** fournit la distribution de probabilité de l'état de l'atmosphère



## 2 - La prévision d'ensemble

### Comment obtenir une prévision probabiliste ?

- ▷ Le modèle est lancé plusieurs fois, à partir d'états initiaux légèrement différents et, éventuellement, de configurations modèle légèrement différentes
- ▷ On ne fait plus une prévision mais **un ensemble de prévisions** (en pratique entre 10 et 50).

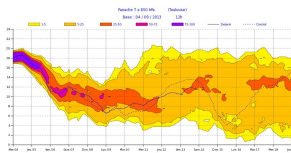
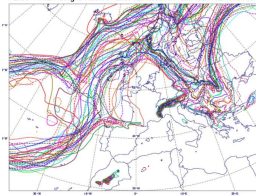




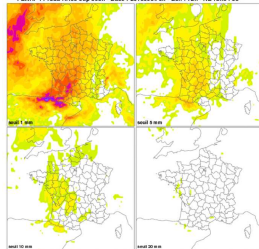
## 2 - 30 ans de prévision d'ensemble

- ▷ Utiliser une prévision d'ensemble c'est :
- Proposer de vrais scénarii alternatifs
  - Avoir une quantification de l'incertitude des prévisions  
⇒ indice de confiance
  - Avoir une quantification du risque de survenue d'un évènement météorologique donné
  - Mieux anticiper les phénomènes intenses

PEARP : PMER Isogline 1020hPa - Base : 20130904 6h - Ech : 72h - NB runs : 35



PEARP : Probe PR06 sup seuil - Base : 20130904 6h - Ech : 72h - NB runs : 35



# Plan

- 1 Les prévisions du temps et leurs incertitudes
- 2 L'approche probabiliste de la prévision du temps
- 3 La prévision d'ensemble à Météo-France**

## 3 - Prévision d'ensemble globale

### ▷ **Prévision d'ensemble globale (Arpège)**

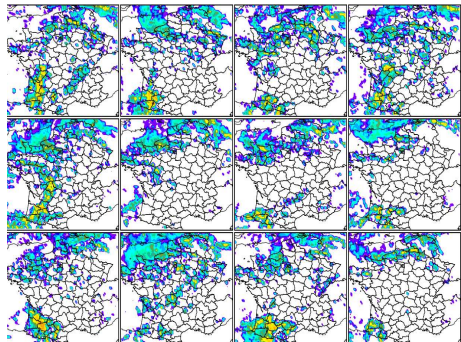
- 35 prévisions
- 4 fois/jour, jusqu'à 4-5 jours d'échéance
- Résolution horizontale (variable) :  $\approx 5\text{km}$  sur la France
- Incertitude initiale
- Incertitudes de modélisation

## 3 - Prévision d'ensemble régionale

### ▷ **Prévision d'ensemble sur la France (Arome)**

⇒ pour la très courte échéance et les phénomènes de fine échelle

- 17 prévisions
- 4 fois/jour, 51h d'échéance
- Résolution horizontale 1.3km
- Incertitude initiale
- Incertitude couplage latéral : perturbations de la PE globale
- Incertitude de modélisation
- Perturbations aléatoires de certains paramètres de surface



## 3 - Prévision d'ensemble 'Européenne'

### ▷ **Prévision d'ensemble du Centre Européen (ECMWF)**

- 51 prévisions
- 2 fois/jour, jusqu'à 15 jours d'échéance
- Résolution horizontale :  $\approx$  9km sur tout le globe
- Incertitude initiale
- Incertitudes de modélisation
- Utilisée pour alimenter le site  
<https://aleapluie.modelia.org/>

# Conclusions

*“La prévision est un art difficile, surtout quand elle concerne l’avenir.”* Niels Bohr

- L’incertitude reste un facteur inhérent au processus de prévision météorologique : les conditions pour une prévision parfaite n’existent pas !
- Une prévision n’est complète que lorsqu’elle est exprimée sous la forme d’une distribution de probabilité
- L’exploitation des prévisions d’ensemble est propre à chaque usager et peut conduire à de meilleures prises de décision que la prévision déterministe.