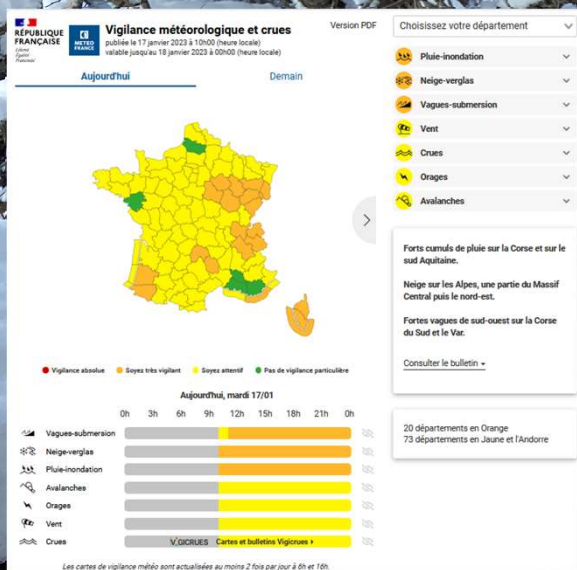


# Modèles et Prévisions météo : comment ça marche ?



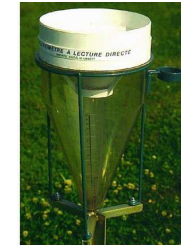
Serge Taboulot

Ingénieur retraité, ex Météo-France Alpes du Nord  
Administrateur de l'Institut des Risques Majeurs  
Secrétaire général de l'Association des Anciens Météos

Mégevette le 20/1/2023

# La modélisation, base des prévisions météo

- **Les principes de base des modèles météo**
  - Incontournable = l'observation des paramètres de l'atmosphère
  - Des équations thermodynamiques et des paramétrisations physiques
  - Progrès : du global à l'échelle fine via les modèles imbriqués
  - Progrès : échéances des prévisions de l'immédiat aux tendances saisonnières
  - Le nerf des prévisions : la course à l'armement informatique
- **Les limites du « déterminisme » = la direction actuelle vers des prévisions d'ensemble (probabilistes et multi-modèles)**
- **Fin de « chaîne des prévisions »: de l'algorithmique à l'expertise humaine**
- **Au final, de multiples sources météo... Que choisir en montagne ?**



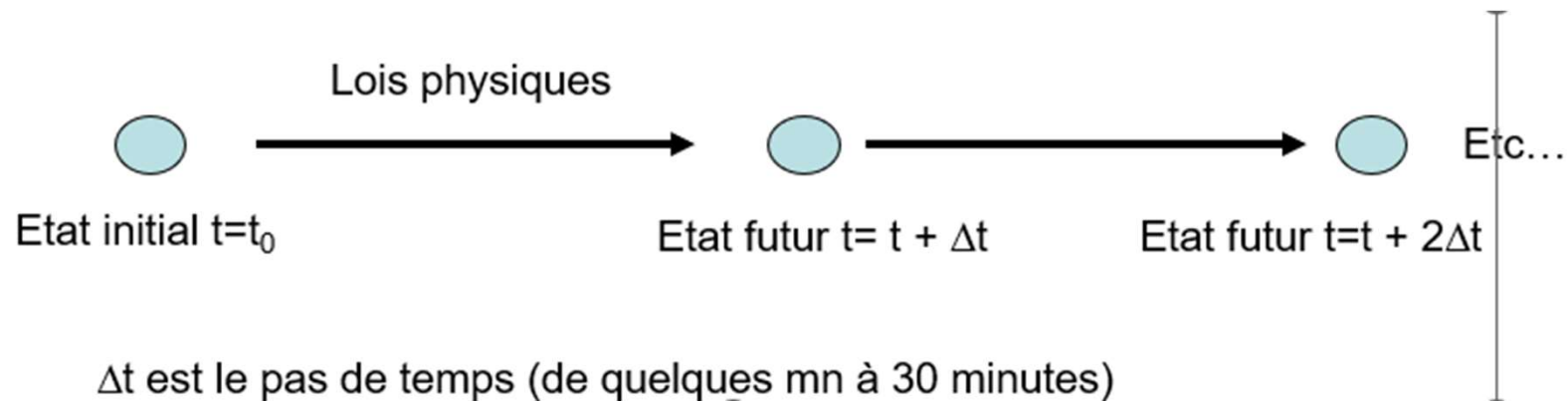
Pluviomètre SPIEA à lecture directe



Abri météorologique réduit  
(Contient les thermomètres mesurant  
la température minimale et maximale)

# Principes de base des modèles météo

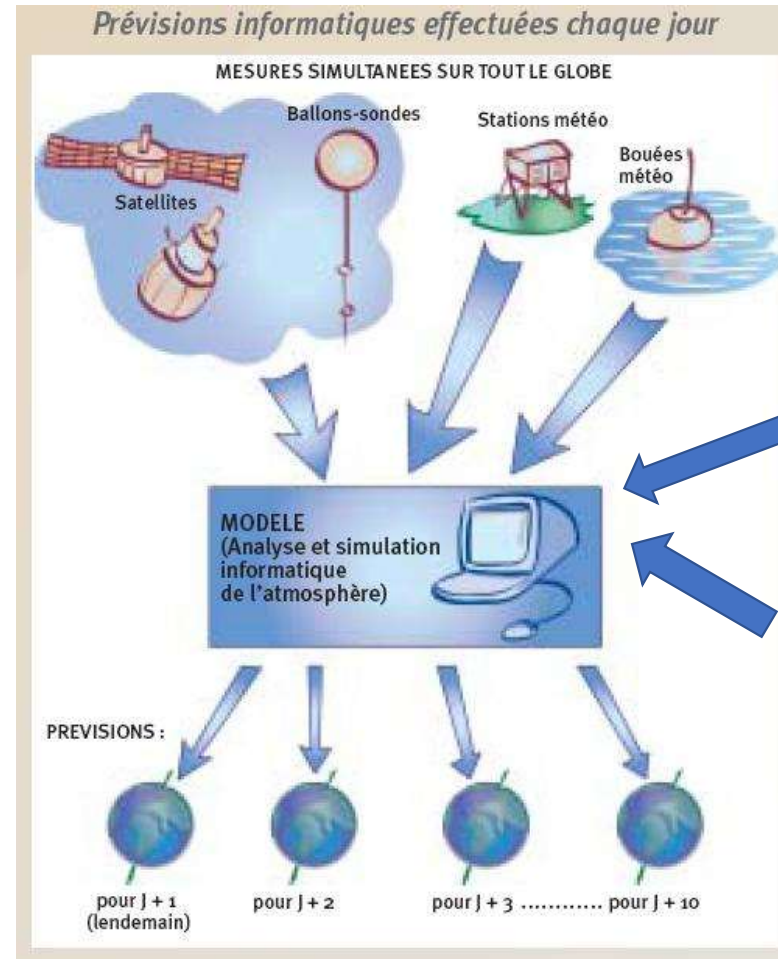
- Début du XIX siècle : à la suite de Newton, Laplace théorise le **DETERMINISME** : connaissant un état initial, les lois physiques du système, on peut calculer un état futur (exemple, les lois de la mécanique céleste permettent de calculer la date et l'heure de la prochaine éclipse)
- Premier modèle météo basé sur ce principe au début du XX siècle



- **Mise en œuvre de cette modélisation en seconde partie du XX siècle** en phase avec l'émergence de l'informatique et l'augmentation de la puissance de calcul.

# Principes de base des modèles météo

- Premier maillon incontournable de la « Chaîne de prévision » :  
Connaitre l'état de l'atmosphère au temps  $T_0$ , donc disposer d'un maximum d'observations dans le fluide atmosphère à prévoir (paramètres d'état de l'atmosphère = Temp, Pression, Vent, Humidité)  
A ce jour, maximum d'observations issues des satellites via « sondeurs » (longueurs d'ondes Infra-rouge).  
Notion fondamentale = échange mondial libre et gratuit des observations météo sous égide WMO



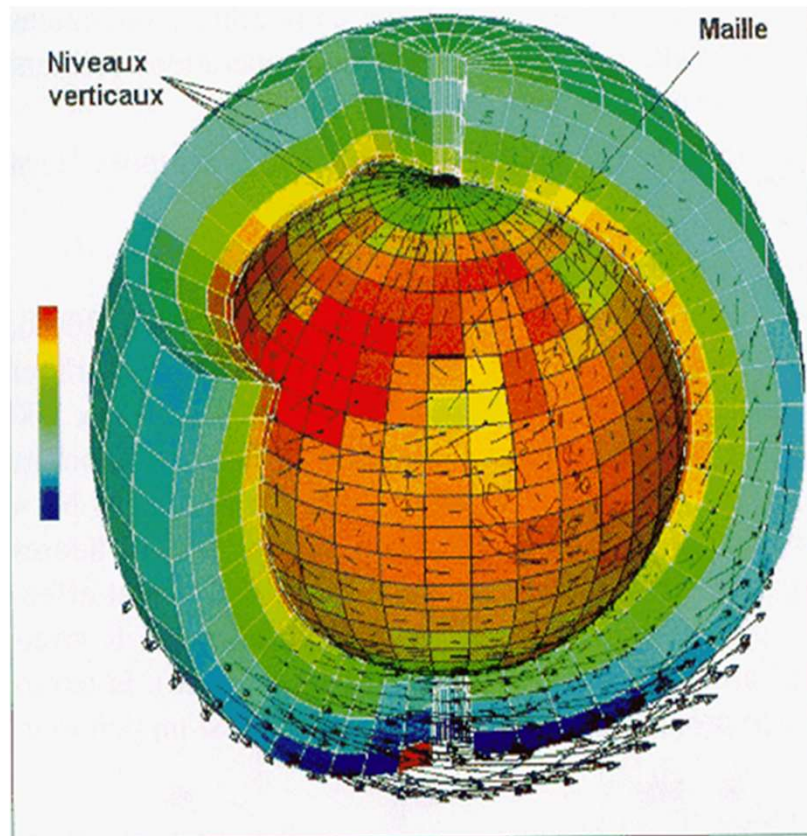
+ radars météo  
+ mesures avion



# Principes de base des modèles météo

- Après assimilation des données observées, les équations thermodynamiques d'évolution et des paramétrisations physiques (exemple échanges océans-atmosphère) sont appliquées à l'intérieur de « boîtes élémentaires » (la « maille » du modèle) sur le globe entier.

**Modèle global français Arpège, de maille variable ~5km pour l'Europe de l'ouest sur 105 niveaux verticaux**

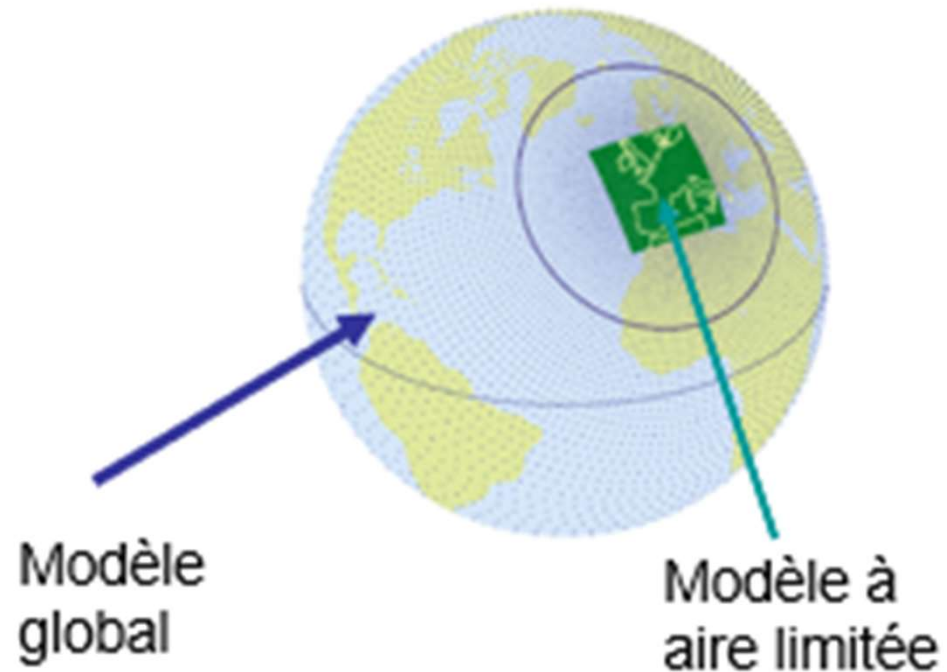


# Principes de base des modèles météo

- Années 90 : du modèle global à l'échelle fine via les modèles imbriqués

**Modèle imbriqué à échelle fine français = AROME**  
**Maille actuelle de 1,3 km**

**Limites = une vallée alpine de moins de 2x la maille est ignorée par le modèle !**  
**La « micro-échelle » reste peu accessible à la modélisation...**

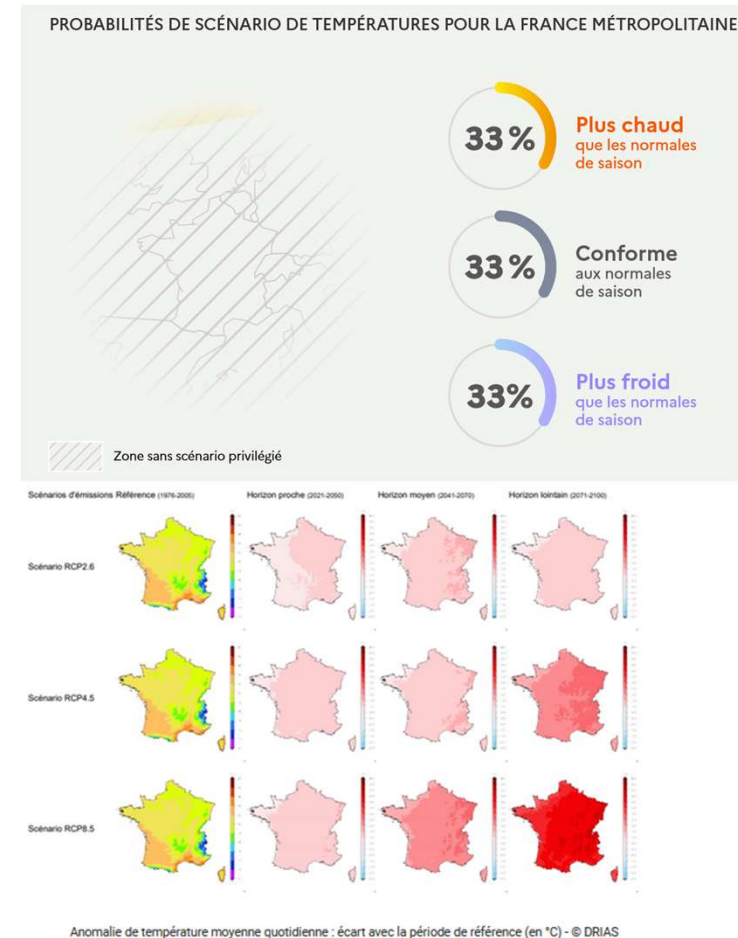


# Principes de base des modèles météo

- **Années 90-2000 échéances des prévisions: de l'immédiat aux tendances saisonnières.**

**Ces mêmes modèles météo peuvent « tourner » (en version à mailles plus larges comme « Arpège climat ») à des échéances très lointaines, plusieurs mois ou plusieurs dizaines d'années.**

**On ne se sert pas alors des prévisions au jour le jour des paramètres d'état (T,P,U,V), mais de leur moyenne, avec lesquelles on établit des tendances saisonnières ou des projections climatiques**



# Principes de base des modèles météo

▪ La clef de l'amélioration des prévisions reste la course à la puissance informatique

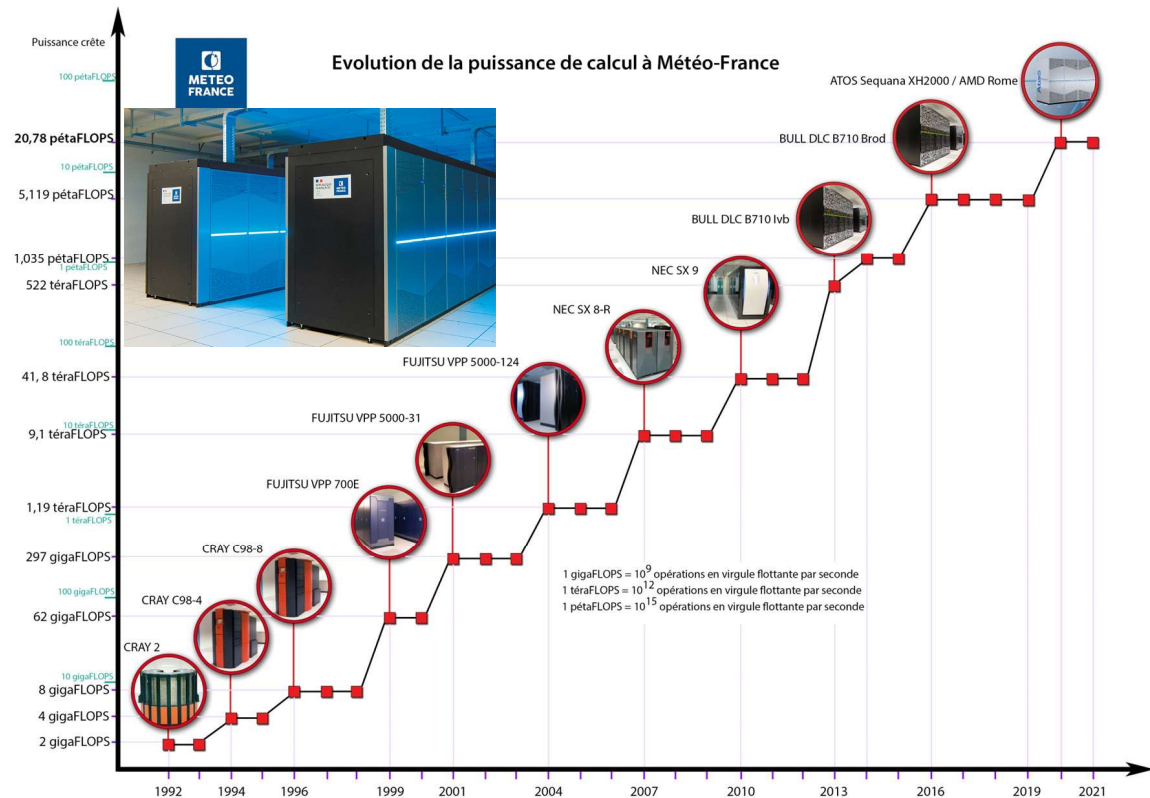
Avec pour objectif d'améliorer :

- 1/ la finesse de la maille des modèles
- 2/ l'allongement des échéances
- 3/ la multiplication des modélisations pour une utilisation non déterministe

**Météo-France: 5 meilleures perfs mondiales des modèles météo**

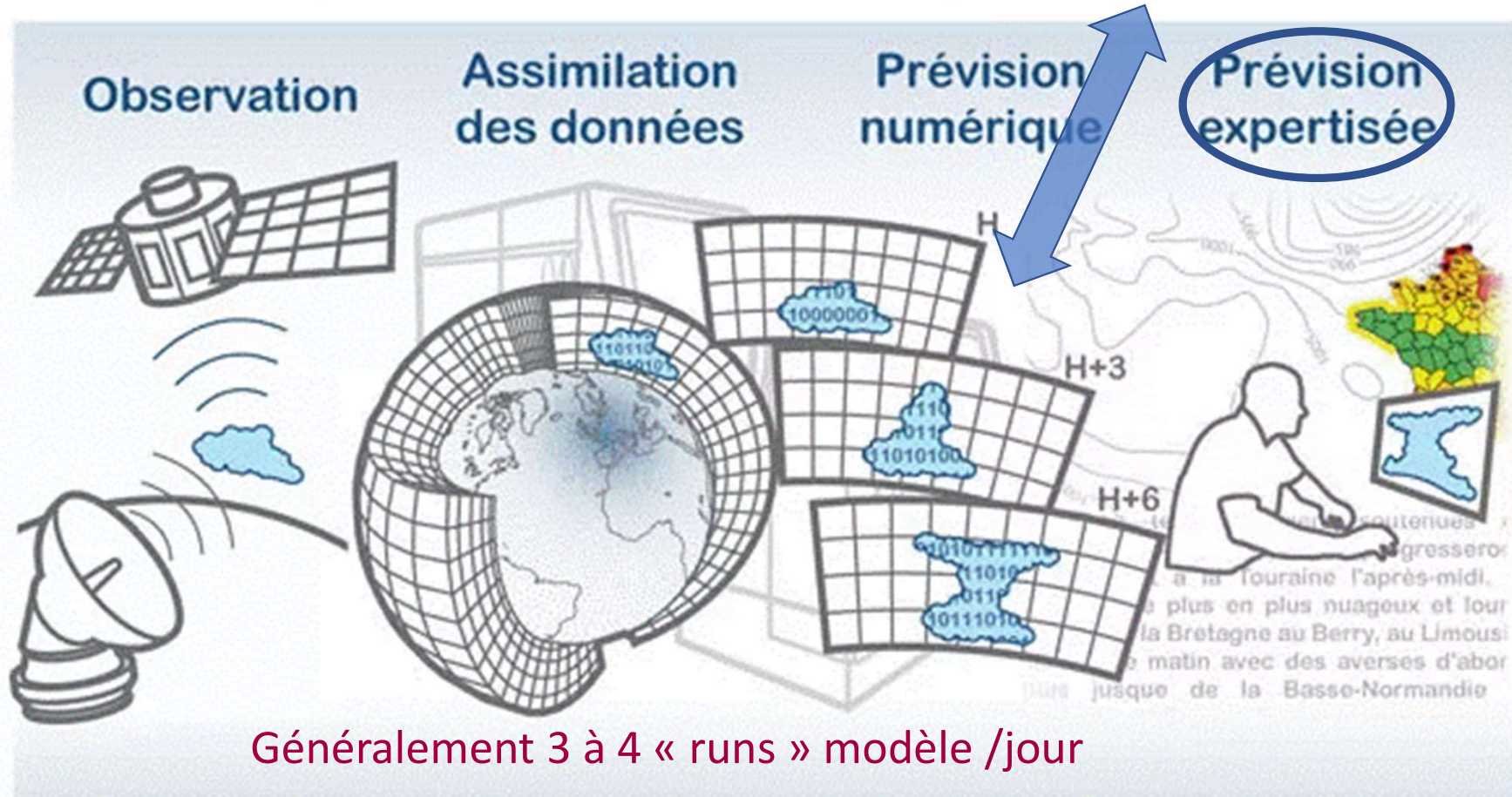
**1€ investi = 12 gagnés par la société**

(Etude socio-économique France Stratégie 2019)





# Chaîne de prévision numérique déterministe



# Les limites des modèles déterministes...

## ■ 2 notions de base

- Observations imparfaites (imprécisions des mesures incontournables)
- Part chaotique du comportement de l'atmosphère :  
« effet papillon » du météorologue *Edouard Lorentz* (1972)



=> **prévisions forcément approximatives, et qui se dégradent avec les échéances...**

## ■ Une idée pour dépasser les inévitables erreurs des modèles déterministes

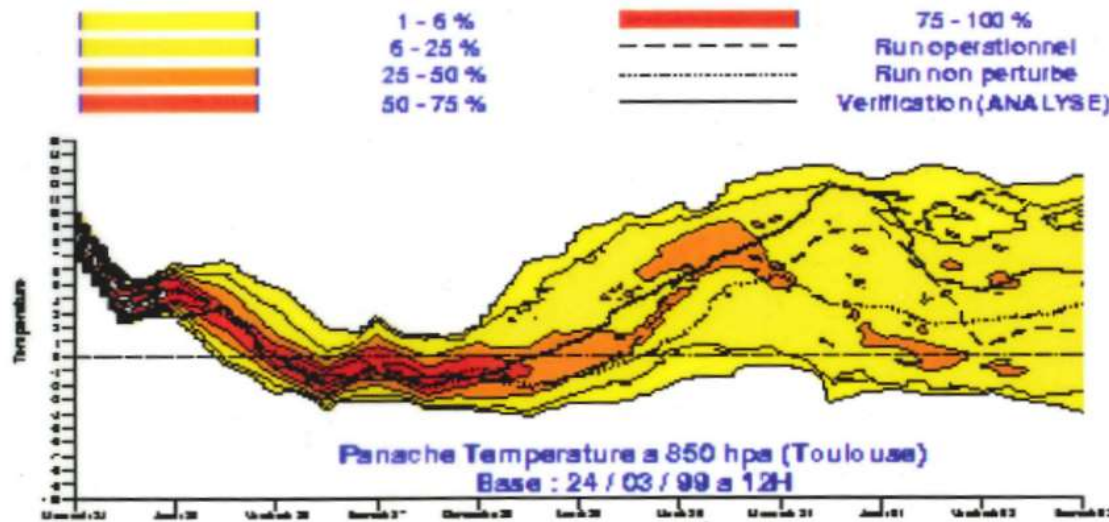
**NE PLUS FAIRE UNE SEULE PREVISION, mais un ENSEMBLE DE PREVISIONS**

## 2 stratégies principales d'application :

- avec le même modèle : prévisions dites ensemblistes, ou encore « probabilistes »
- ou plusieurs (Fr, étrangers, Centre européen, etc.) : prévisions « multi-modèles »

# Les modèles de prévisions d'ensemble

- **Quasiment les mêmes (ARP-ARO-CEP)**
    - Mais on réalise de multiple « runs » (CEP 50 prévus)
    - Avec introduction d'analyses différentes à  $T_0$
- => sorties de modèles spécifiques (panaches...)**



## Global operational NWP systems based on ARPEGE

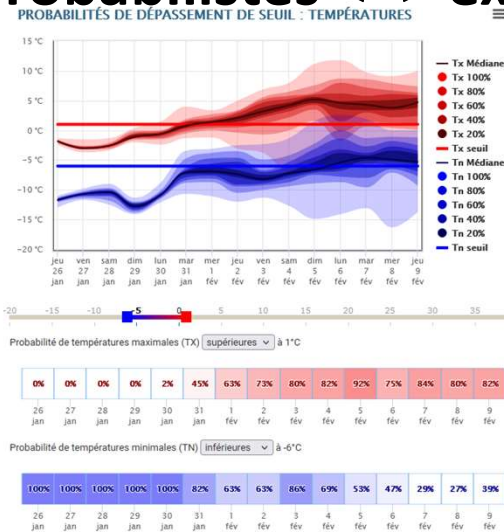
Systems	Characteristics	
ARPEGE Deterministic	TI1798c2.2 L105 (5km on W Europe) 4DVar (6h cycle): TI224c1L105 & TI499c1L105 5 forecasts per day up to 114h	Horizontal resolution ARPEGE Min 5km – Mean 11km – Max 24 km
ARPEGE-EDA (AEARP)	TI499c1 L105 ; 50 members 4D-Var (6h cycle): TI224c1 L105 Background covariances averaged on 12h and updated every 6h	Horizontal resolution PEARP Min 7.5km – Mean 17km – Max 37 km
ARPEGE-EP5 (PEARP)	TI1198c2.2 L90 (7.5km on W Europe) 35 members ; four times per day up to 108h Using 35 EDA members and singular vectors 10 physical packages	

# Les modèles de prévisions d'ensemble

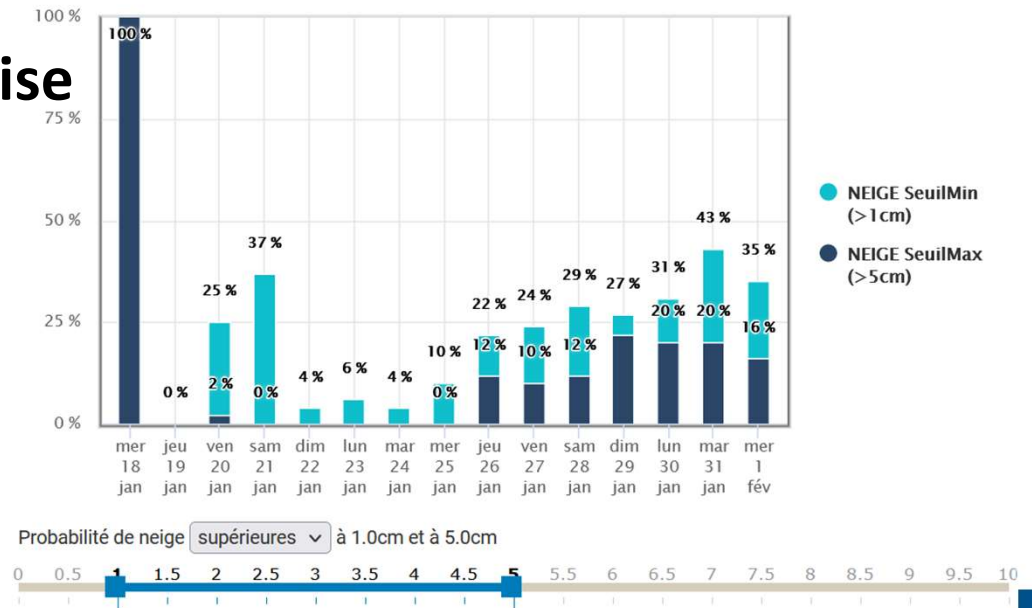
- Ces prévisions d'ensemble sont par construction « probabilistes »
- Notion nouvelle = information sur l'incertitude liée à une prévision... (indice confiance, prob phénomènes ou dépassement de seuils, etc.)
- Prévisions plus complexes ...

CHAMONIX-MONT-BLANC LE BOURGET Météo à jour : 26/01/2023 à 10h38

## Diagnostiques probabilistes <=> expertise

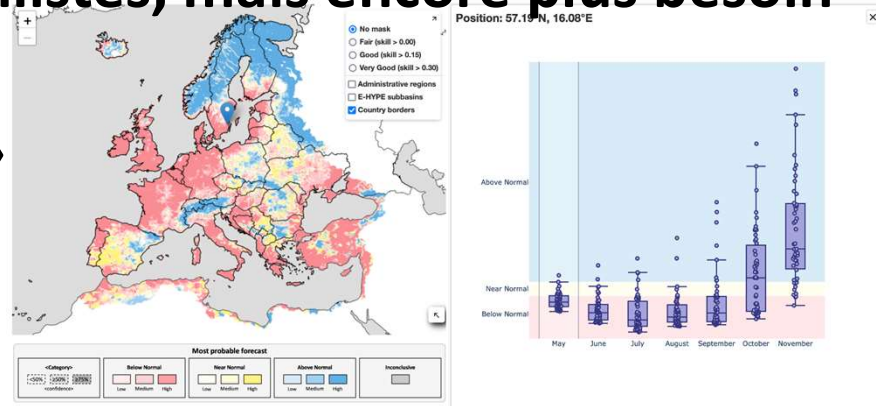


## PROBABILITÉS DE DÉPASSEMENT DE SEUIL : NEIGE



# Les prévisions multi-modèles

- **Même idée que les prévisions d'ensemble, mais on remplace les multiples runs d'un même modèle par l'analyse de tous les modèles disponibles** (les 5 ou 6 grands organismes opérants des prévisions numériques à échelle globale: Centre Européen, US, GB, FR, D, Japon... y compris dans les versions ensemblistes disponibles en open data sur Internet)
  - => **information complémentaire sur l'incertitude liée à une prévision...**
  - **Au final, pas de diagnostics probabilistes, mais encore plus besoin d'expertise d'un prévisionniste !**
  - **Exemple multi-modèles «organisé»**
- = Tendances saisonnières Europe**



# Prévisions météo : expertise et mise en forme

- **La dernière étape de la chaîne des prévisions météo (la + importante...?)**
  - soit à partir des sorties de modèles pour une mise en forme adaptée au besoin météo de l'activité (expert météo montagne, marine, agricole, etc. , avec ou sans conseil).  
**COMMUNICATION sur les PREVISIONS primordiale avec adaptation au besoin**
  - ou des diagnostics de sorties de modèles (tous types) pour **choix du modèle de la « meilleure prévision »** (domaine des météo indépendants et amateurs éclairés)

## Exemples :

- Montagne = équipement pour une sortie / froid ? Un indice de température ressenti (calcul automatique [T ; Vent] en sortie de modèle) est probablement largement suffisant pour prendre une bonne décision
- Arboriculture = mise en œuvre de moyens de lutte contre un risque de gel de printemps ? Le raisonnement sur une seule probabilité de gel sous abri est **totallement insuffisant !** (*expertise météo + agronomique + financière ...*)



# Météo (s...) : quelles sources en montagne ?

- **Avis perso** : à éviter pour la prévision montagne !
  - Les prévisions totalement automatisées basées sur modèles globaux en open data. **Pourquoi ? Maille des modèles globaux inadaptée à la montagne + modèle utilisé la plupart du temps non précisé + aucune spécificité montagne (limite pluie-neige jamais spécifiée et encore moins expertisée)**
  - **Typiquement** = la plupart des sites des FAI et opérateurs de téléphonie, la météo Google « Weather Channel », etc...
  - **TV, radio** = journalistes... qui déforment souvent l'info de base et sans vision montagne. (Meilleure Météo = TF1 !)



# Météo (s...) : quelles sources en montagne ?

- **Avis perso** : à privilégier pour la prévision montagne

- **Rubrique montagne** et application **meteoski** de **Météo-France**.  
Pourquoi ? Validation humaine de la base de prévision, basée sur expertise modèle (Arôme en général ou CEP si jugé meilleur) + bien adapté montagne (limite pluie-neige, risque avalanche)
- **Météo-Suisse** ?Pq: Base Cosmo, modèle régional issu du CEP avec de bonnes performances sur les Alpes + belle présentation appli (pays montagneux...)
- **Météoblue** ?Pq: TB présentations modèle ICON allemand, avec option MultiModel innovante qui donne une idée des incertitudes des prévisions (semi-pro !)

- **Pour experts: modèles sur **Météociel** ou **Infoclimat****

