



Le calcul intensif temps réel, un outil décisif pour la performance d'un service météorologique

Alain BEURAUD
(Météo-France, DSI, Chef de projet « Calcul Intensif »)

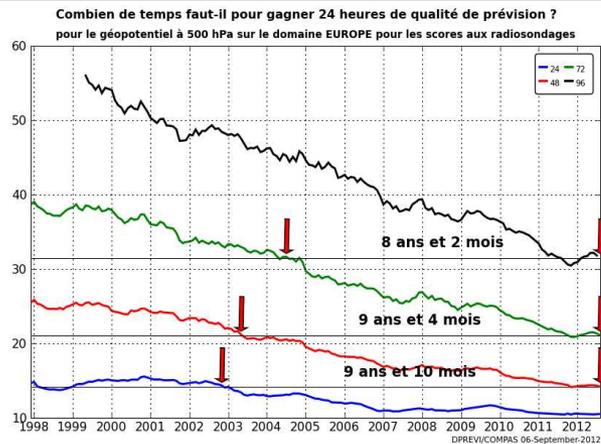
Plan de la présentation

1. Le calcul intensif à Météo-France aujourd'hui
2. Quels besoins en calcul intensif pour les années à venir ?
3. La production « temps réel » sur HPC
4. La nouvelle solution de calcul intensif de Météo-France
5. En route pour le futur

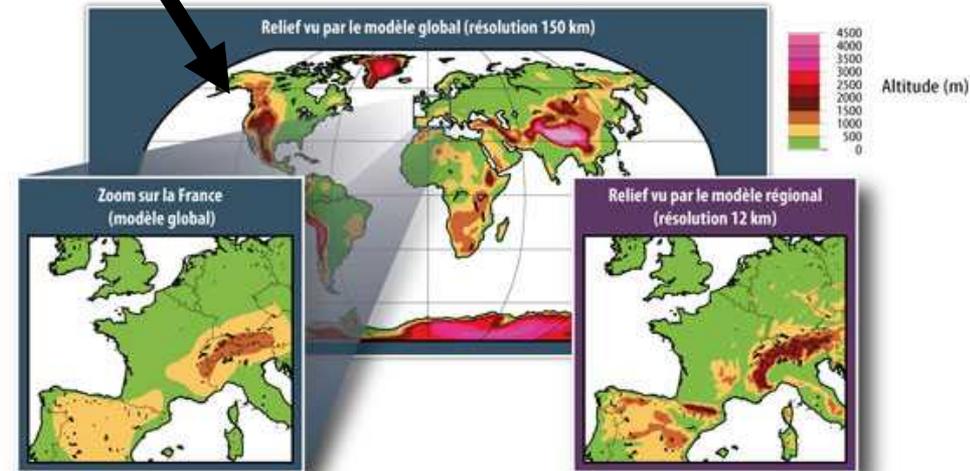
Plan de la présentation

1. **Le calcul intensif à Météo-France aujourd'hui**
2. Quels besoins en calcul intensif pour les années à venir ?
3. La production « temps réel » sur HPC
4. La nouvelle solution de calcul intensif de Météo-France
5. En route pour le futur

Les 2 grands axes d'utilisation du HPC à Météo-France

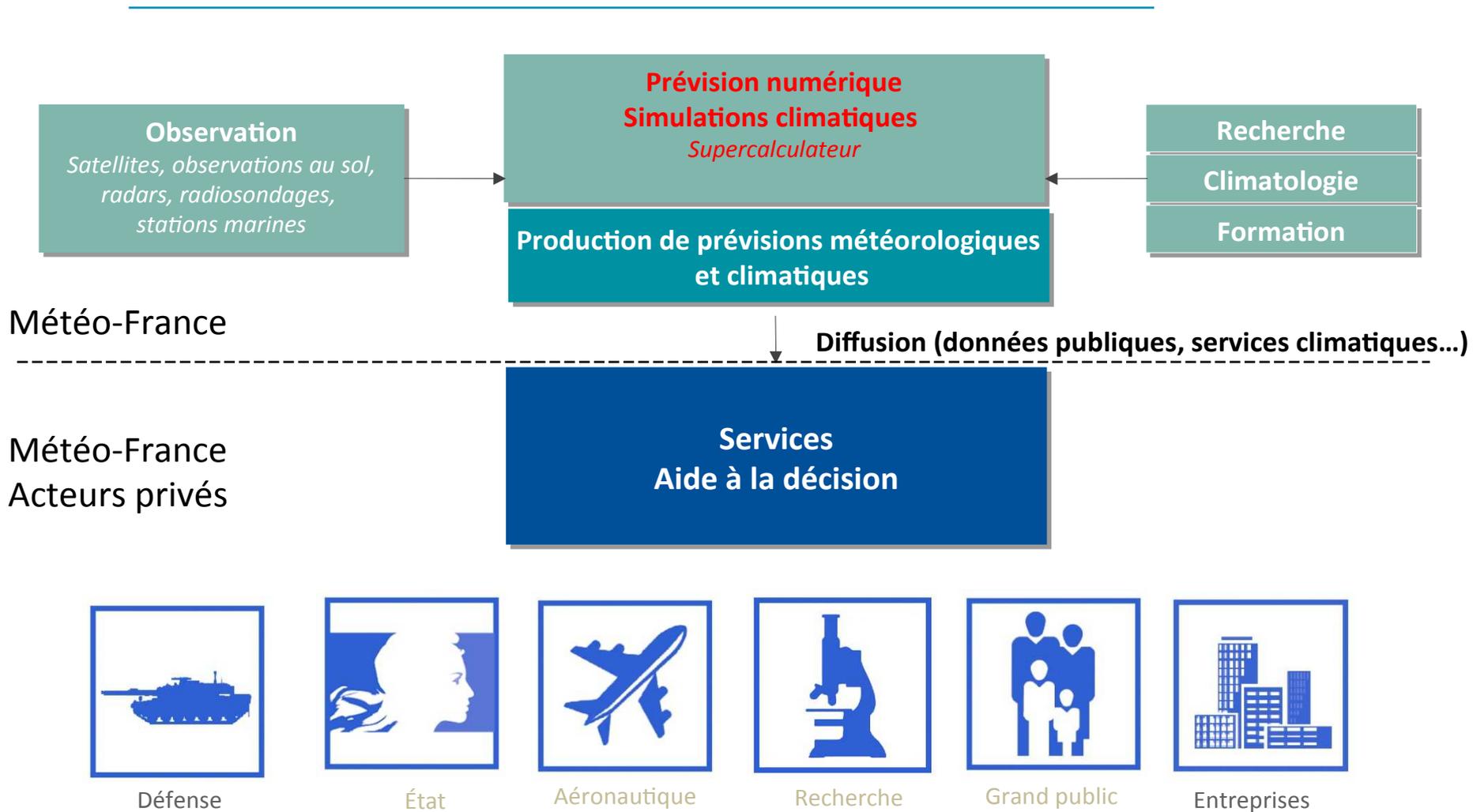


Des prévisions opérationnelles temps réel, en constante amélioration

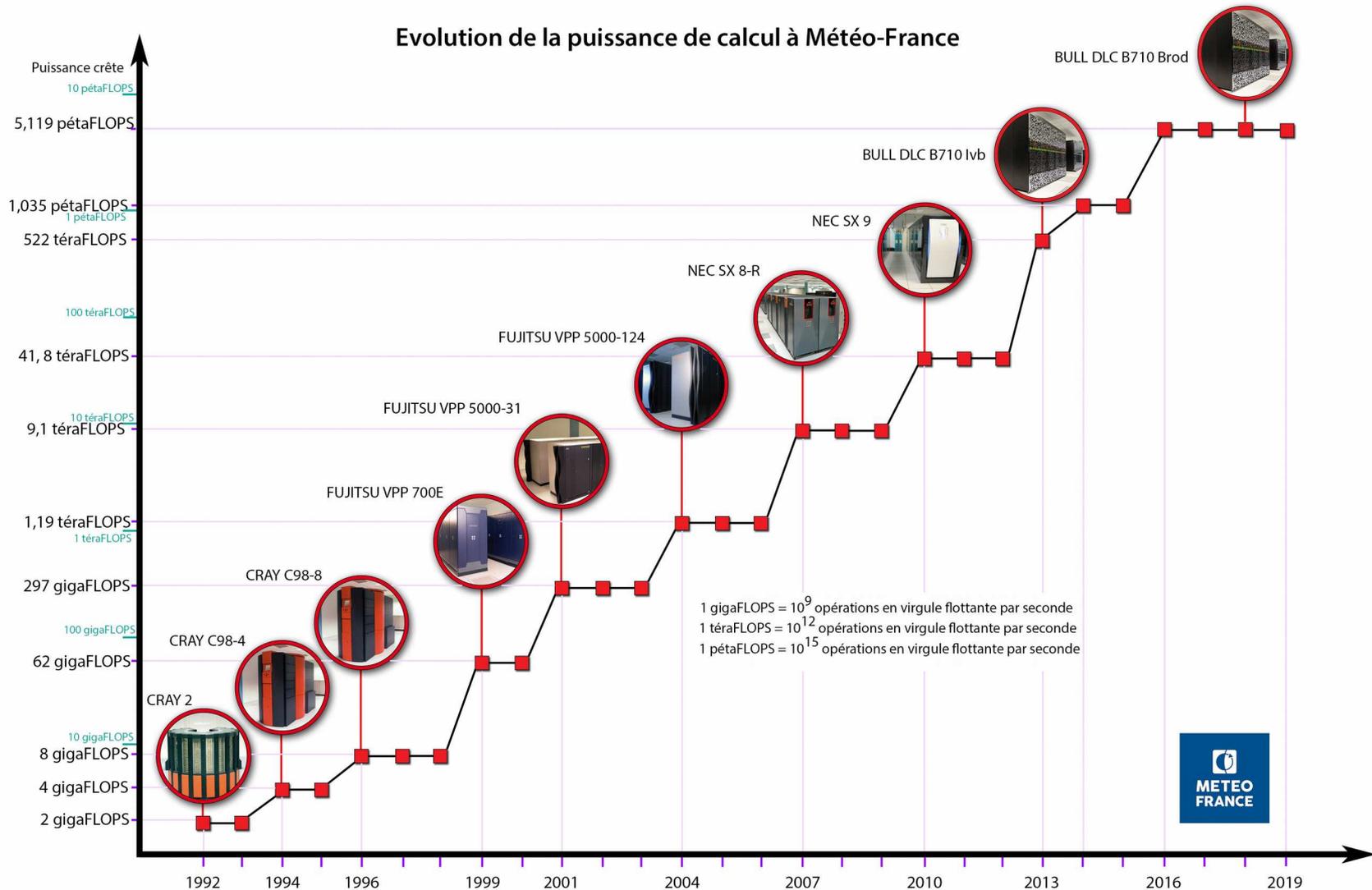


Contributions au GIEC, projections climatiques régionalisées en appui aux politiques d'adaptation

La place HPC dans la chaîne de valeurs de la production



L'évolution de la puissance de calcul à MF au fil du temps



Plan de la présentation

1. Le calcul intensif à Météo-France aujourd'hui
- 2. Quels besoins en calcul intensif pour les années à venir ?**
3. La production « temps réel » sur HPC
4. La nouvelle solution de calcul intensif de Météo-France
5. En route pour le futur

Une nouvelle augmentation de la puissance de calcul, pour quoi faire ?

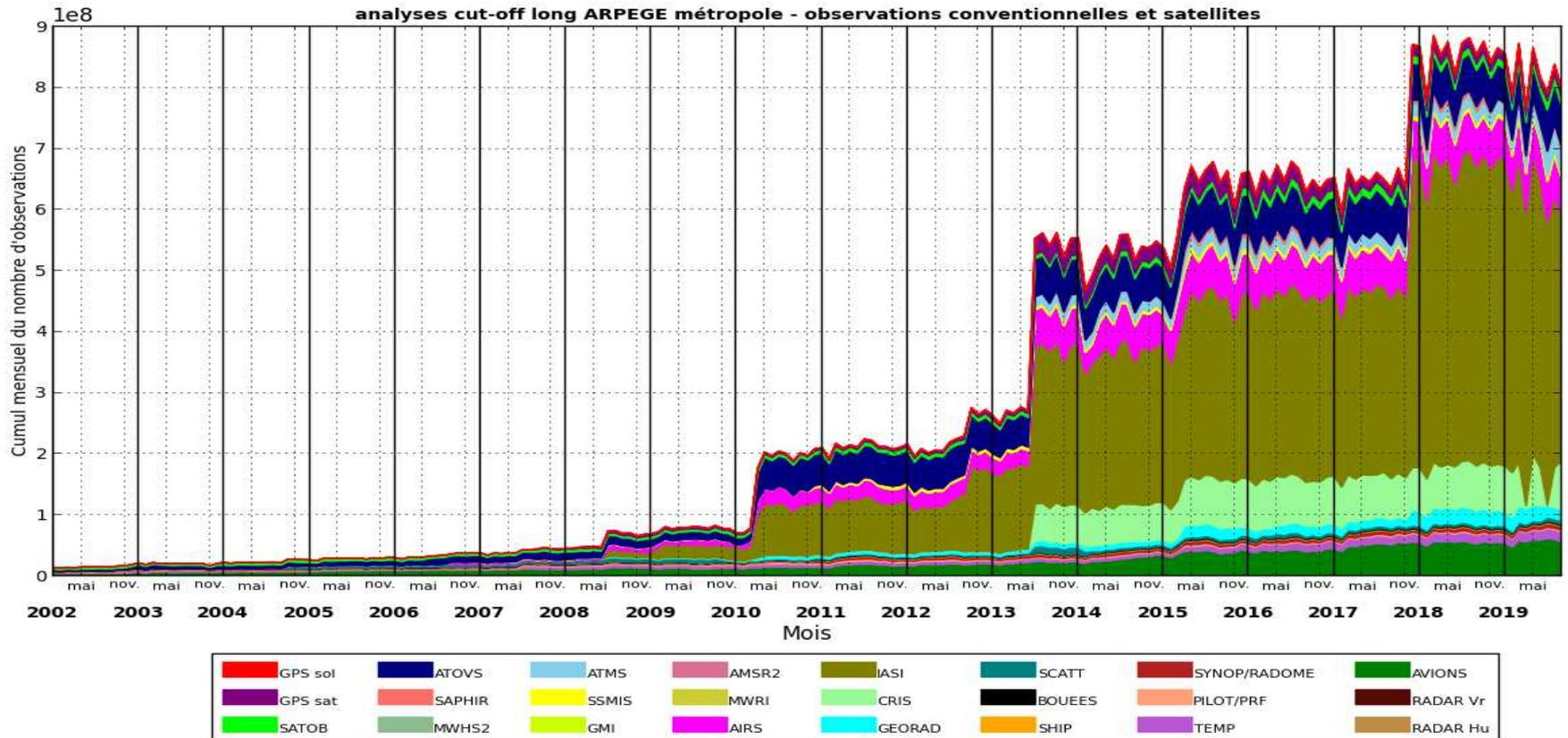
1. Utiliser dans les modèles de prévision **un nombre croissant d'observations, exploitées de façon optimisée**
2. Préciser les incertitudes sur les prévisions météorologiques à échelle fine grâce à la **prévision probabiliste**
3. **Augmenter la résolution des modèles** de prévision pour mieux représenter les phénomènes à fort impact de petite échelle
4. Prévoir **les impacts du changement climatique à très haute résolution sur la France** pour appuyer les actions d'adaptation au changement climatique (impacts à l'échelle de la ville...)

→ Ces innovations constituent pour la plupart des **ruptures scientifiques** dont la mise en œuvre opérationnelle nécessite une **augmentation importante de la puissance de calcul de Météo-France**.

→ La cible minimale pour y parvenir est un facteur 5 sur la puissance effective sur les applications

Axe 1 : ingérer davantage d'observations en entrée des modèles de PNT

Evolution des cumuls mensuels de nombre d'observations utilisées par type d'observation

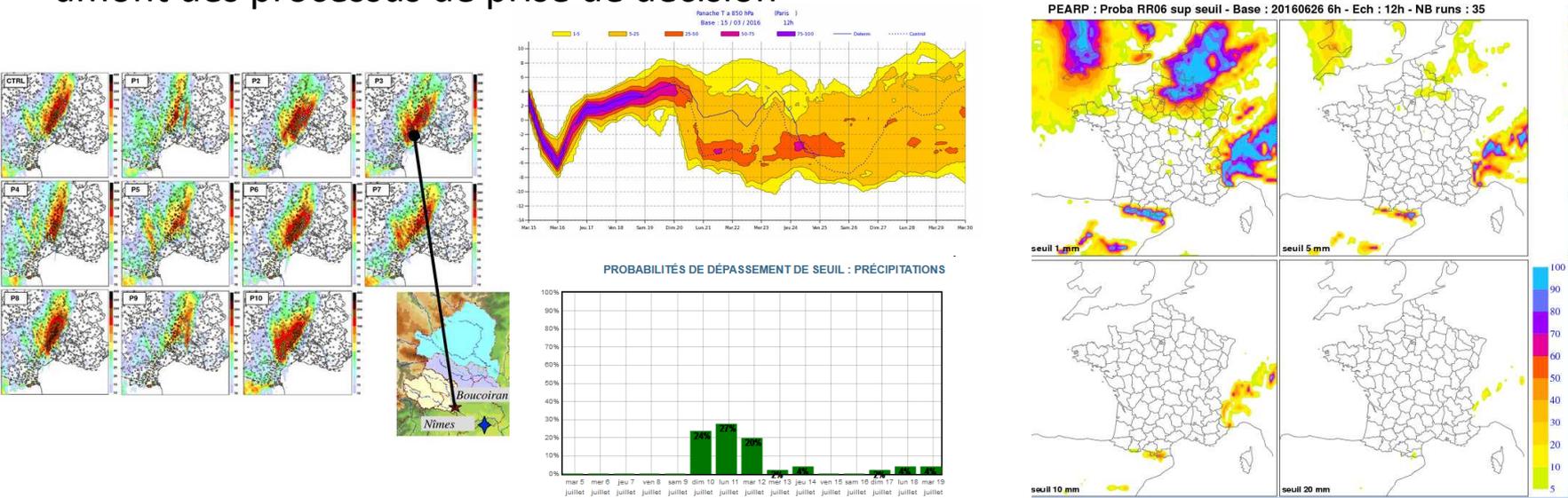


DirOP/COMPAS 03-octobre-2019

- Assimilation d'un plus grand nombre de données de types différents pour mieux recréer l'état initial de la prévision
- Principaux bénéfices attendus:
 - meilleure anticipation des épisodes de précipitations intenses de fine échelle
 - meilleure cohérence des prévisions successives

Axe 2 : mieux anticiper les phénomènes extrêmes et préciser les incertitudes à échelle fine grâce à la prévision probabiliste

- Principe de la prévision probabiliste: réaliser un ensemble de prévisions pour décrire l'ensemble des états possibles de l'atmosphère et fournir une information plus riche en amont des processus de prise de décision

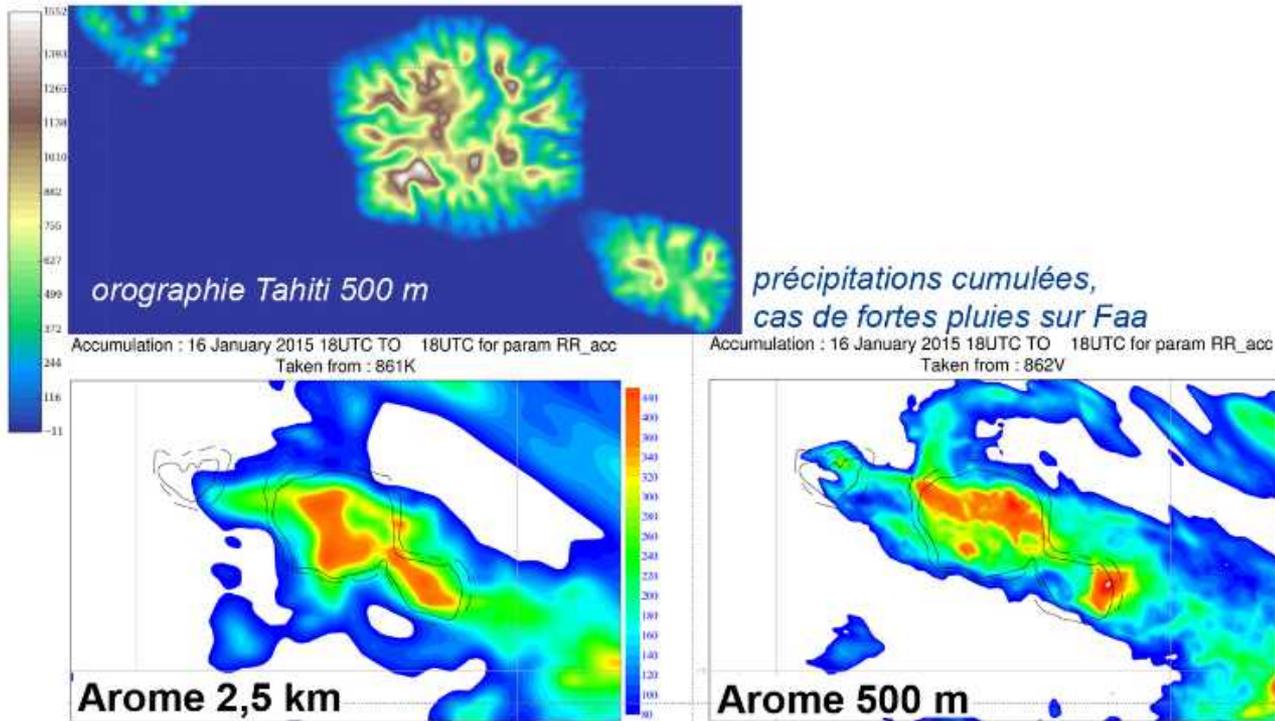


- L'ambition de Météo-France est d'abandonner les configurations déterministes de ses modèles global et régional sur la métropole au profit de versions probabilistes de ces derniers.

• Principaux bénéfices attendus:

- meilleure estimation du risque d'évènements extrêmes sur la métropole
- baisse du taux de non-détection des évènements extrêmes
- développement de services d'aide à la décision tirant parti du probabilisme

Axe 3 : augmenter la résolution sur des zones à fort enjeu



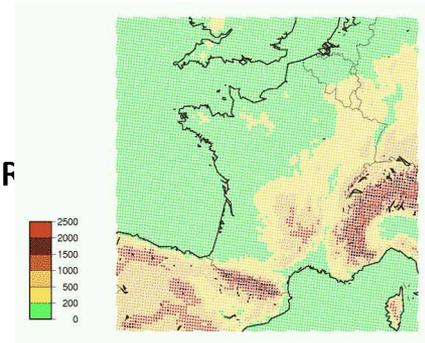
- Evolutions opérationnelles prévues:

- Passage de toutes les déclinaisons d'Arome (prévision immédiate, probabiliste, outre-mer, défense) à une résolution de 1.3 km
- Déploiement d'Arome à 500m sur quelques zones à enjeu (métropole, aéroports...)

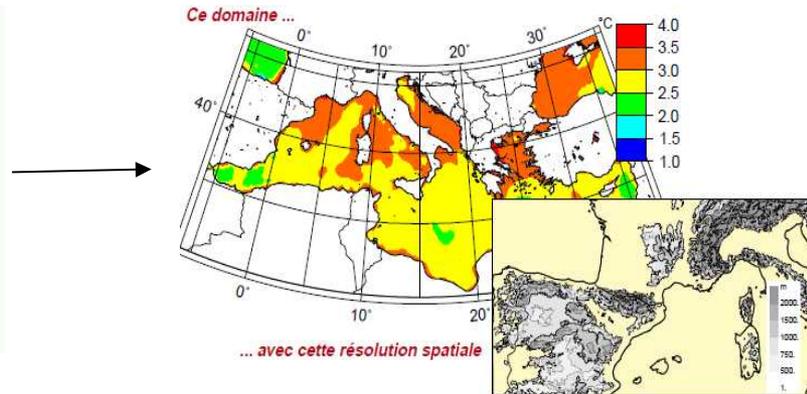
- Bénéfices attendus:

- Meilleure anticipation des phénomènes extrêmes
- Représentation plus fine des paramètres météorologiques sur les zones de relief

Axe 4 : prévoir les impacts du changement climatique sur la France pour venir en appui aux décideurs quant aux politiques d'adaptation

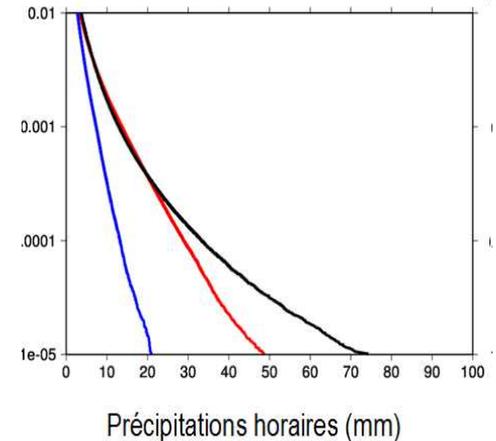


Résolution 10 km (2015)



Passage à une résolution 2.5 km sur la France, le bassin méditerranéen et plusieurs domaines outre-mer

ALADIN 12 km
AROME 2,5 km
COMEPHORE (Observations)

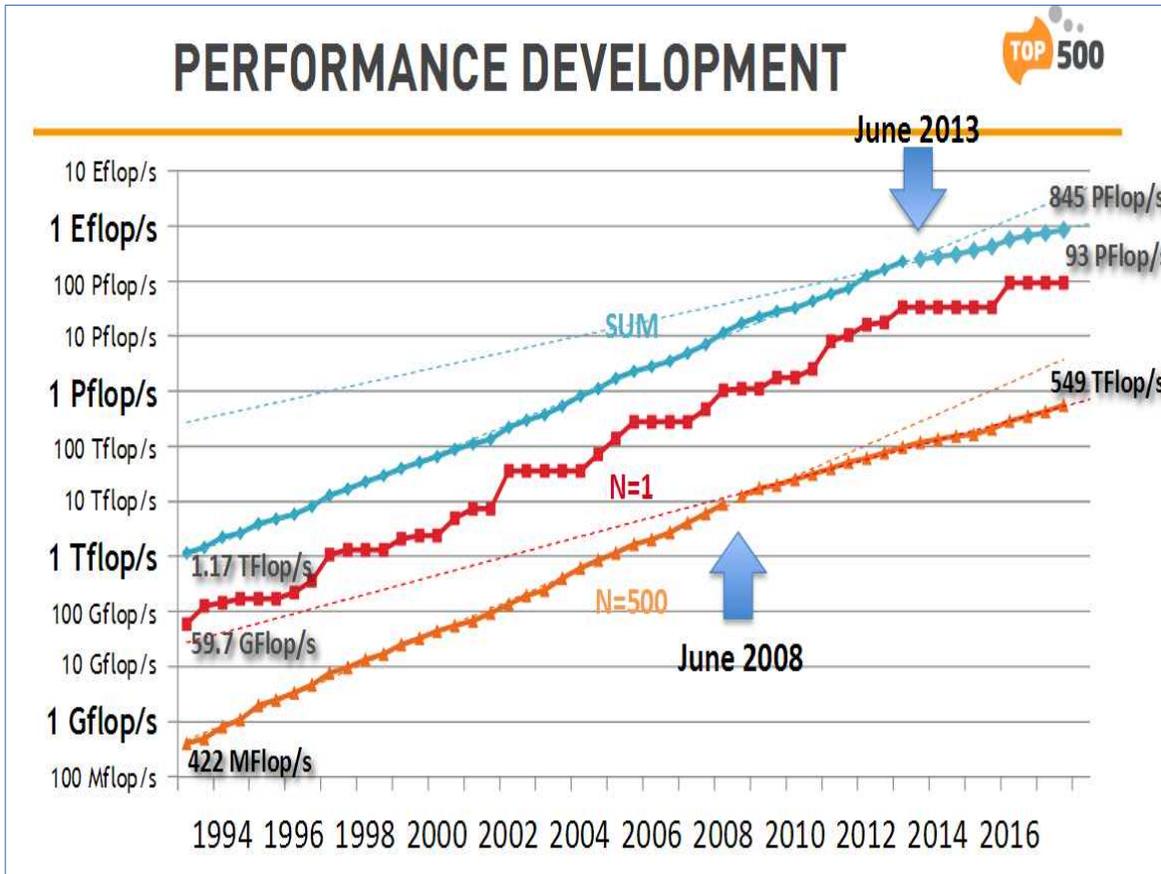


Des bénéfices significatifs attendus sur les événements extrêmes et les précipitations

Bénéfices attendus:

- Véritable exploitation scientifique des simulations globales à haute résolution: caractérisation des événements extrêmes et de leur évolution avec le changement climatique (cyclone tropicaux, événements de pluie intense, crues...)
- Position de leader européen en régionalisation ouvrant la voie à de nombreuses possibilités en matière de projets d'études d'adaptation et de services climatiques

Cadrage du projet : le contexte technologique



**Net ralentissement
des gains de
performances à coût
constant**

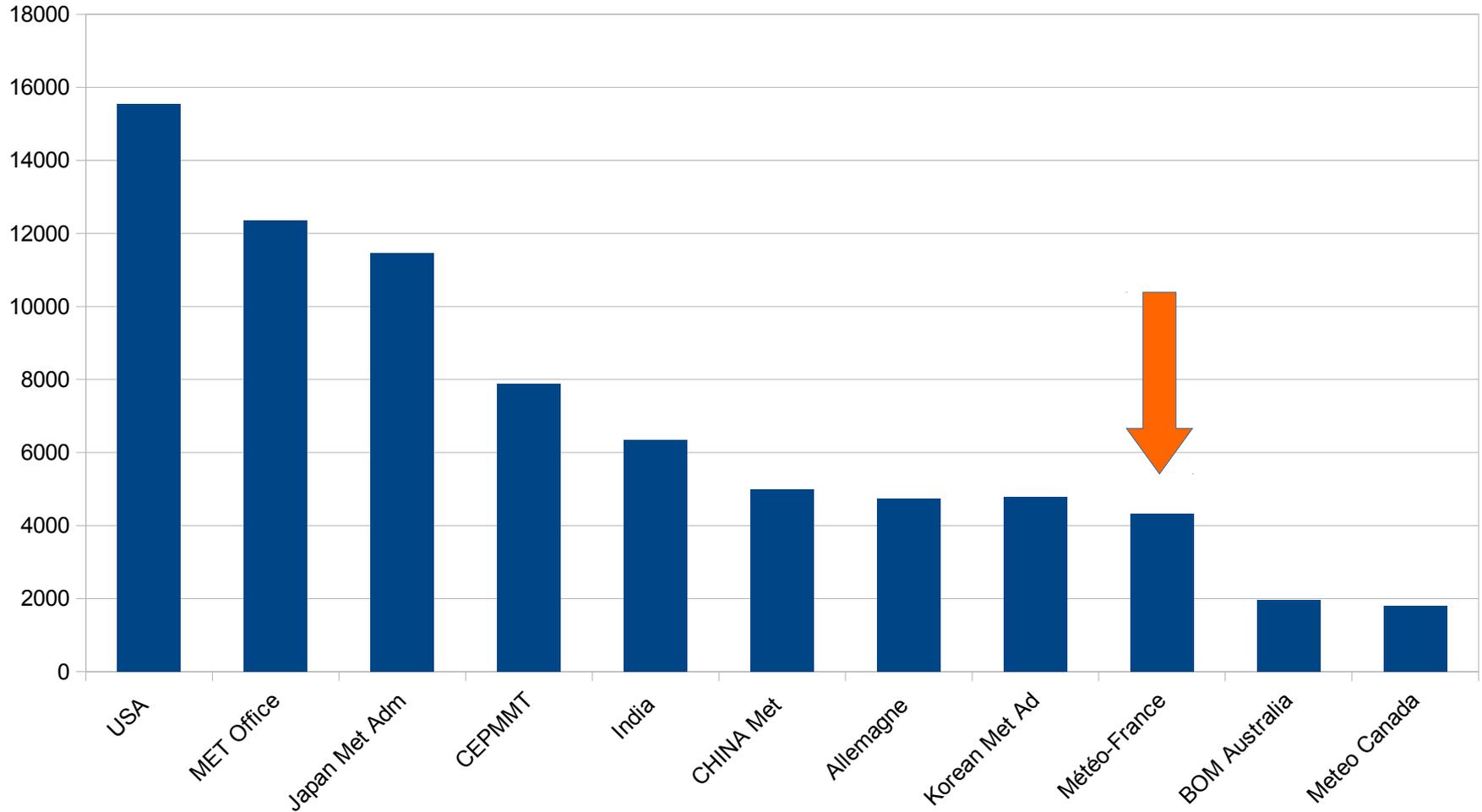
**Tendance confirmée
(et accentuée) durant la
veille technologique
conduite en 2016/17 sur la
base des résultats
informels de l'exercice
RAPS**

Conséquences :

- objectifs MF apparaissent très ambitieux au regard de ces tendances
- renforcement du budget nécessaire pour tenter d'atteindre un facteur x5

Contexte : où en sont nos homologues ?

Puissance soutenue Linpack en Teraflops en juin 2019



Upgrades majeurs prévus en Australie (2019), au Canada (2020)

Des évolutions dont les bénéfices socio-économiques potentiels ont été évalués fin 2016

catégorie d'acteur	PI événements extrêmes	PI autres phénomènes	prévision J-J+1	Prévision J+4 globale	Prise en compte de l'incertitude	Prévision saisonnière	Services climatiques
production d'électricité	X		X	X	X	X	X
agriculture	X	X	X	X	X	X	X
transport aérien	X	X	X	X	X	X	
transport routier	X	X	X			X	
transport ferroviaire		X	X				
grande distribution				X		X	
tourisme			X	X		X	
grand public vigilance	X	X					
grand public vigilance Outre Mer	X	X	X	X	X		
Défense		X	X		X		X

Compte-tenu du montant de l'investissement, Météo-France a été soumis à l'obligation de réaliser une étude d'évaluation socio-économique du projet, qui a été confiée au cabinet CITIZEN, et a fait l'objet d'une contre-expertise pilotée par le CGI.

Cette évaluation conduit à un rapport bénéfices/coûts du projet supérieur à 12, valeur probablement sous-estimée de l'avis de la contre-expertise.

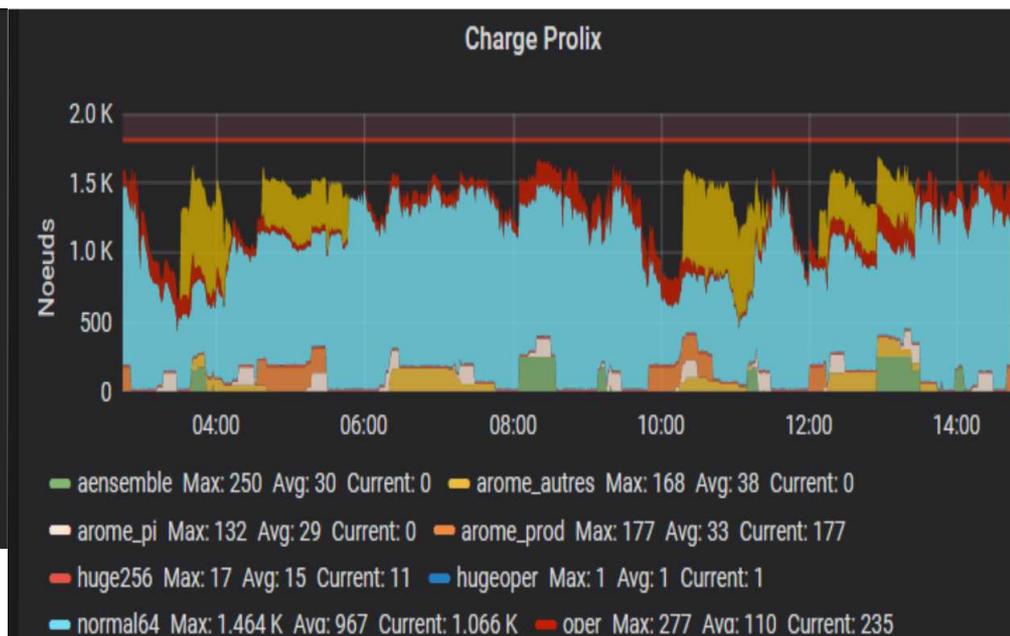
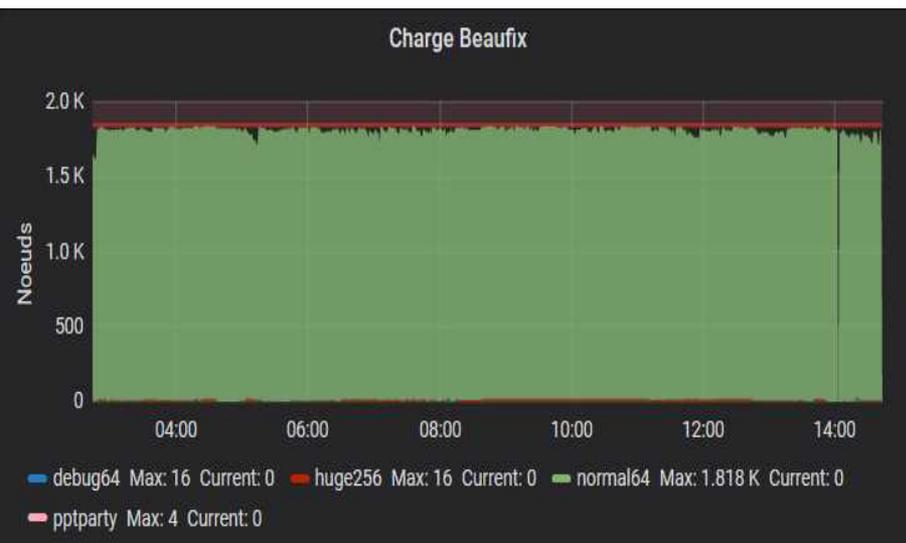
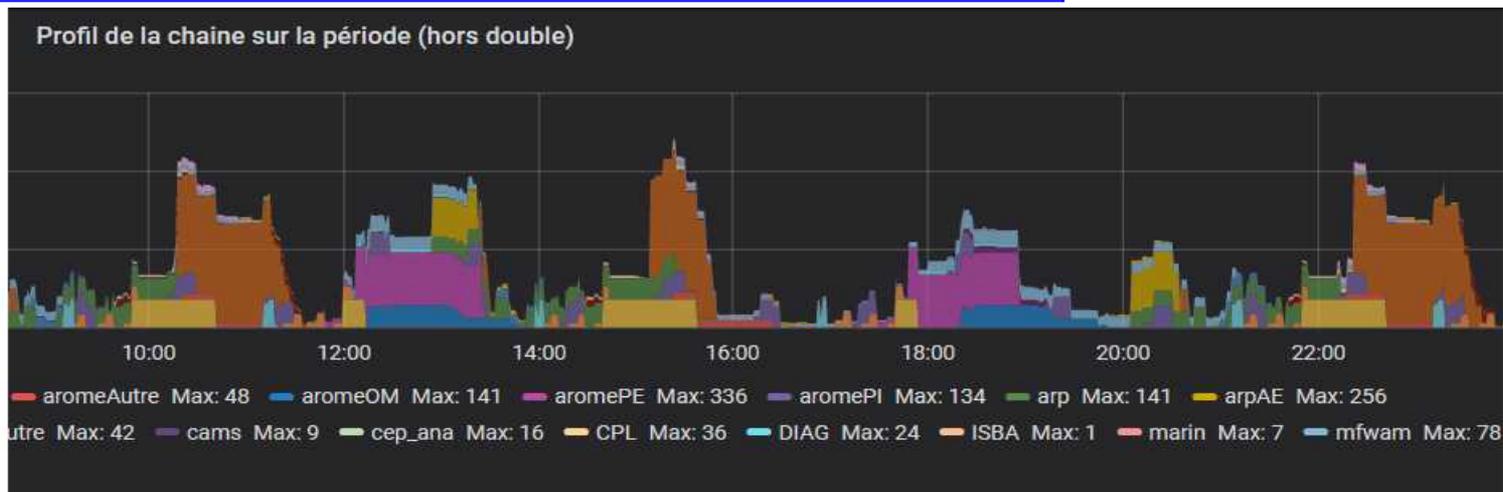
=> scénario ciblant une puissance de calcul multipliée par 5 confirmé ... puis validé

Plan de la présentation

1. Le calcul intensif à Météo-France aujourd'hui
2. Quels besoins en calcul intensif pour les années à venir ?
- 3. La production « temps réel » sur HPC**
4. La nouvelle solution de calcul intensif de Météo-France
5. En route pour le futur

Les contraintes associées à la prod. opérationnelle

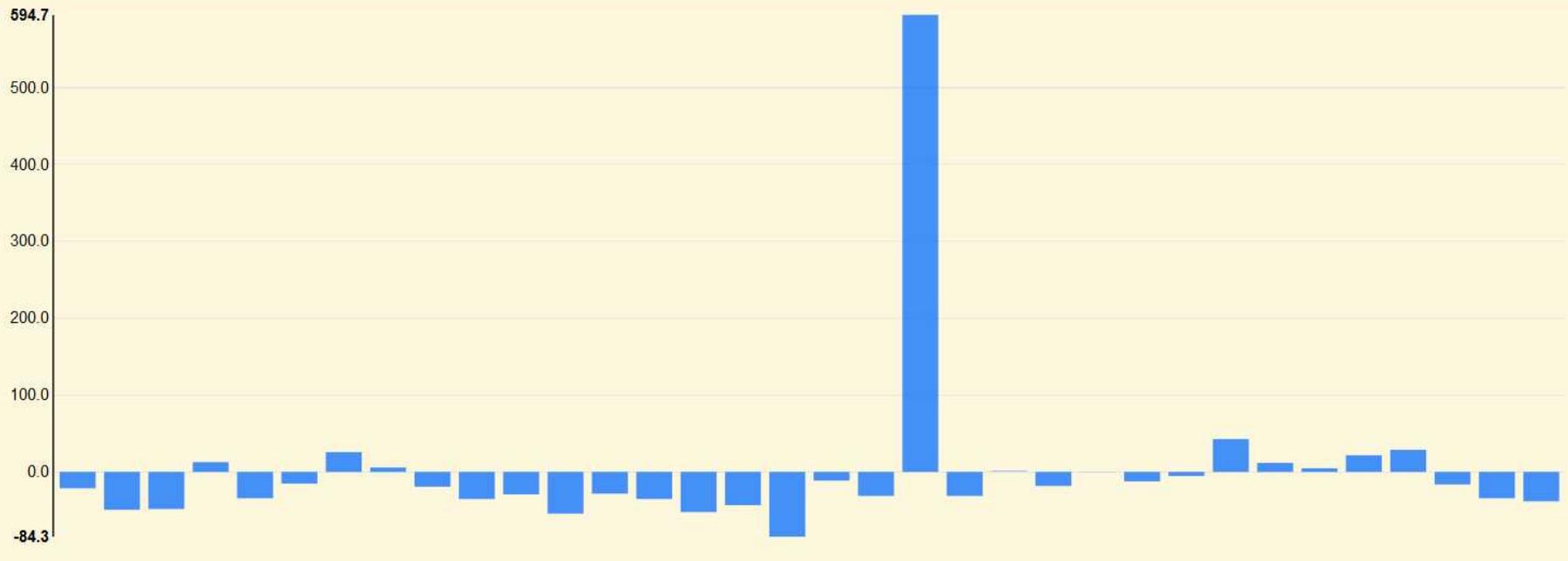
Ressources occupées par l'opérationnel (04/10/2019) :



Les contraintes associées à la prod. opérationnelle

Un suivi individualisé possible pour chaque appli opérationnelle :

Durée du job « Prévision Arome / 12h UTC » sur les 30 derniers jours

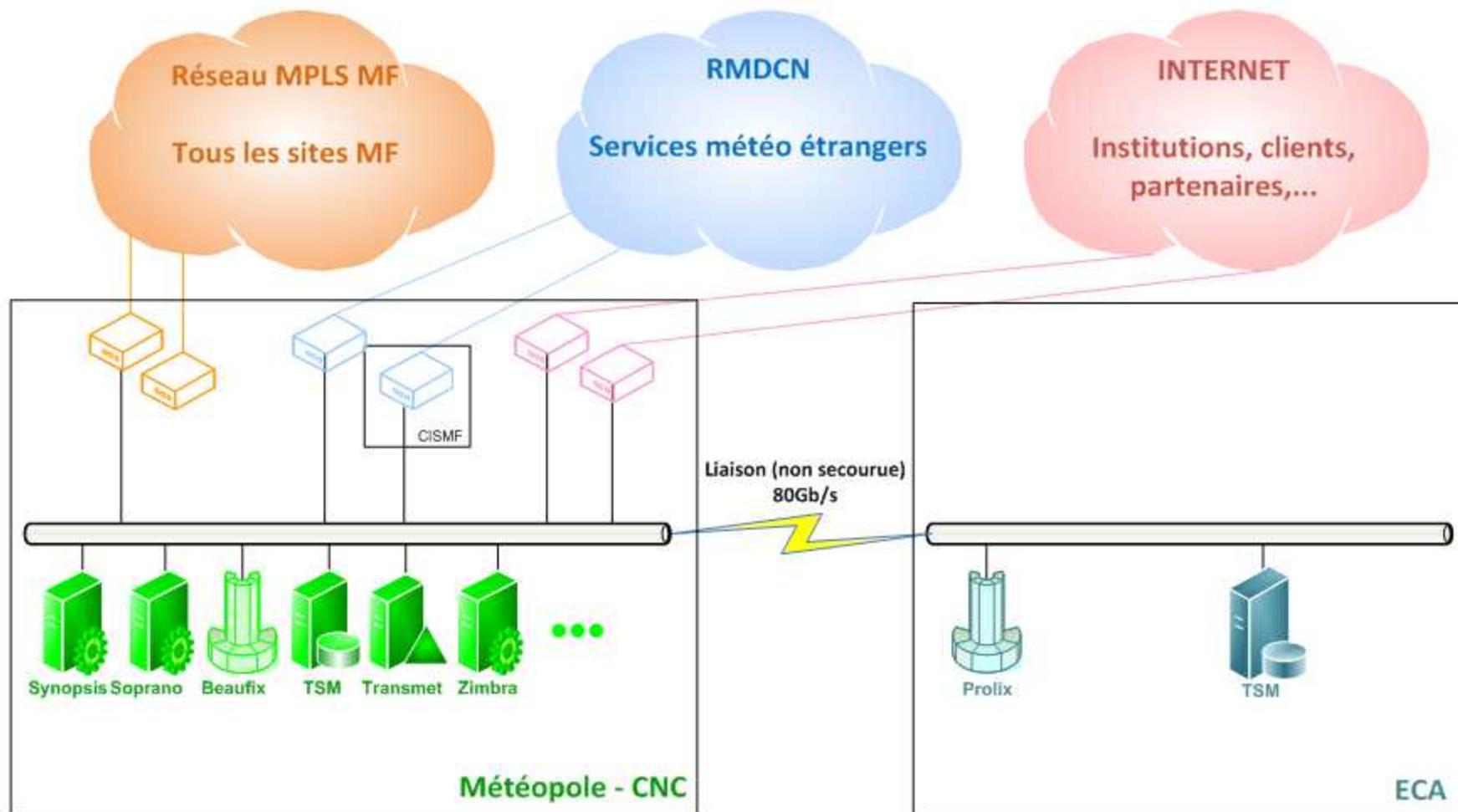


Durée moyenne normale : environ 1 heure

Cas du 19 septembre : écart de presque 10 minutes !

Travail sur la résilience à tous les niveaux : serveurs de pré/post traitements et des réseaux (actuels)

Situation actuelle

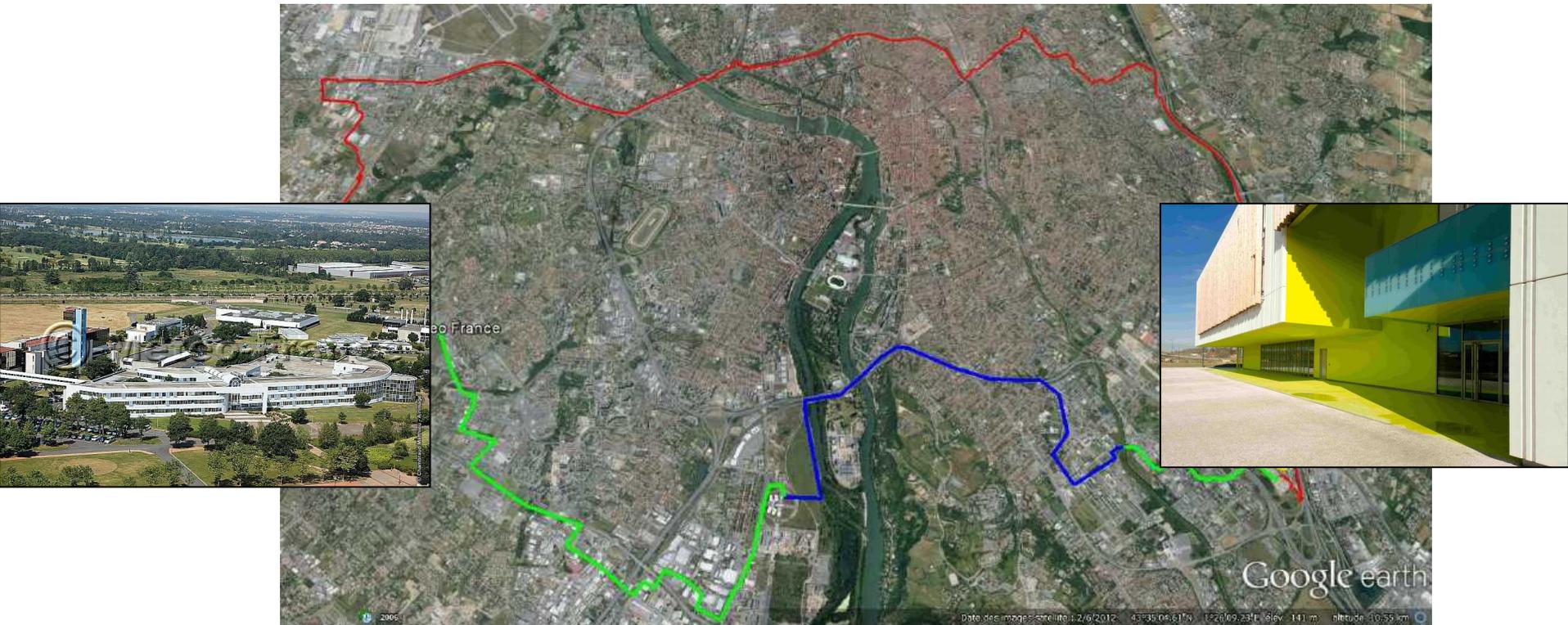


L'intérêt de la double localisation : la preuve par l'image

Météopole, bâtiment Poincaré, 22 janvier 2013, 16h50 :



Des moyens de production répartis sur 2 sites

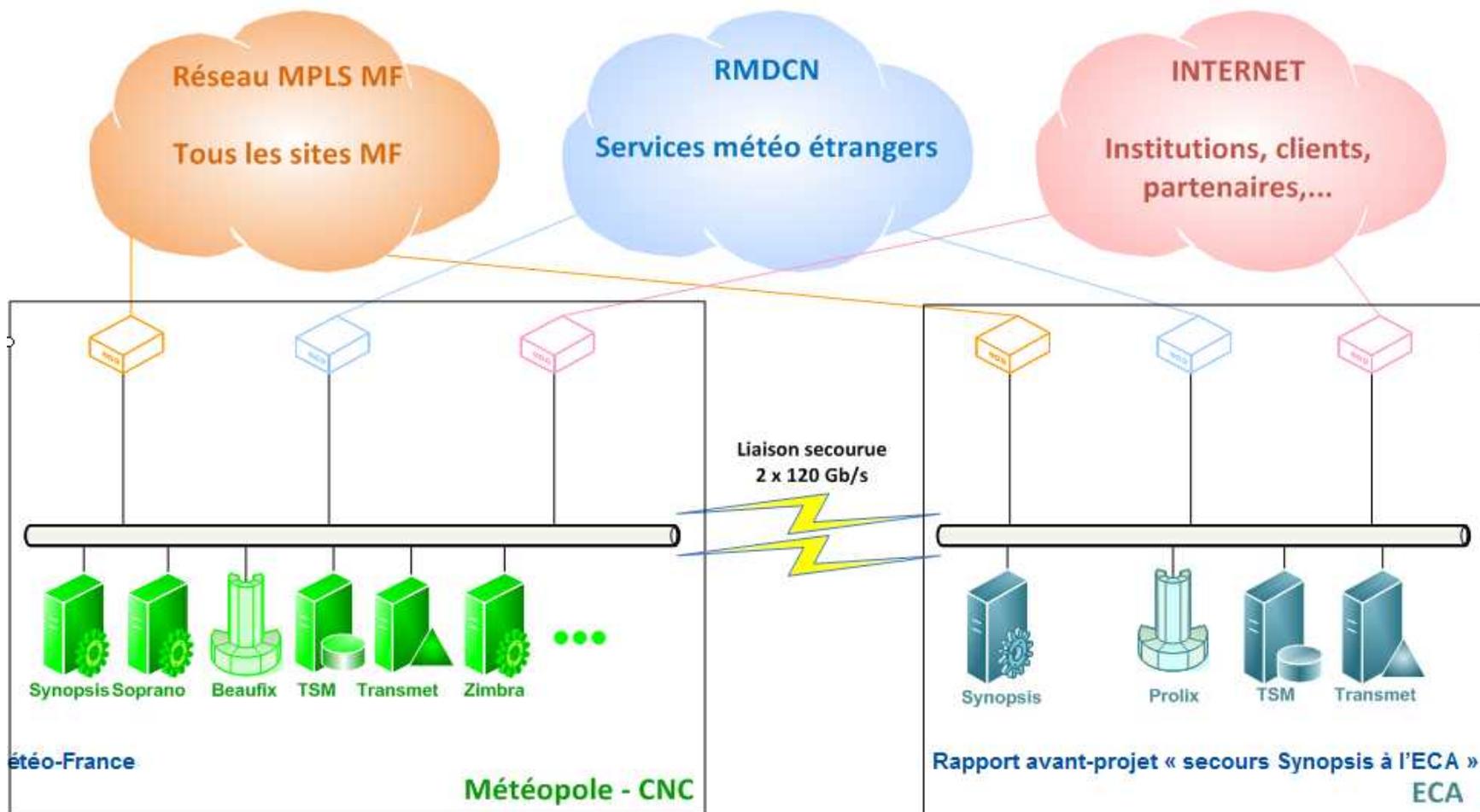


Lien direct : [bleu et vert](#)

Lien de secours : [activé à l'été 2019](#)

Travail sur la résilience à tous les niveaux : serveurs de pré/post traitements et des réseaux (future)

Evolution en cours (2019 - 2021)



Plan de la présentation

1. Le calcul intensif à Météo-France aujourd'hui
2. Quels besoins en calcul intensif pour les années à venir ?
3. La production « temps réel » sur HPC
- 4. La nouvelle solution de calcul intensif de Météo-France**
5. En route pour le futur

Appel d'offres calcul : composante économique

Montant estimatif (budget que Météo-France souhaite affecter à cette opération pendant les 4 années de durée ferme du contrat) annoncé

Contrat de service, paiement sous forme de redevance mensuelle fixe :

- à compter de la réception du 1^{er} calculateur
- pour une durée de 4 ans à compter de cette date

La redevance couvre :

- la mise à disposition des 2 calculateurs et des logiciels associés, et au préalable, d'une machine de portage
- leur installation et mise en ordre de marche, la maintenance (PCM12 ou PCM24 pour des périodes dûment spécifiées dans le PFD)
- les formations initiales et l'assistance au portage, à l'optimisation des codes, à l'administration système

Benchmark applicatif : 3 applications majeures de PNT (40 points)

Efficacité énergétique = Facteur de gain / conso totale (10 points)

Déroulement du dialogue compétitif (1)

8 décembre 2017 : avis d'appel public à la concurrence

15 janvier 2018 : date limite de remise des candidatures

15/01/2018 : 6 candidatures reçues

14 février 2018 : décision officielle de sélection des candidatures

14/02/2018 : 5 candidatures acceptées
(références insuffisantes, capacité à assurer le support non démontrée)

23 février 2018 : envoi du jeu de tests applicatifs aux candidats retenus

3 mai 2018 : envoi du Dossier de Consultation initial

multiples interactions entre l'équipe de projet et les candidats (4 correctifs, 22 questions génériques, 6 questions privées, 2 annexes)

Déroulement du dialogue compétitif (2)

7 août 2018 : réception des offres initiales

7/08/2018 : abandon d'une société
(portage sur technologie GPU trop lourd [REDACTED])

3 offres d'excellente facture, une nettement moins travaillée
Facteurs de gain plutôt décevants à ce stade

1 au 12 octobre 2018 : auditions officielles des candidats (Toulouse)

Pour plusieurs offres, évolutions majeures entre offre initiale et présentation durant les auditions.

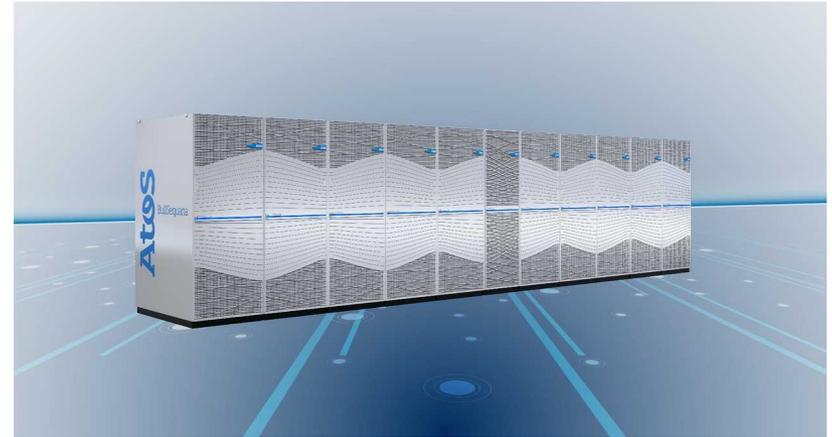
Un code du jeu de tests (OOPS) jugé non mûre et non « scalable »

7 novembre 2018 : remplacement du code OOPS par AROME-QR

12 au 14 novembre 2018 : 2èmes réunions officielles (Dallas, USA)

La solution technologique retenue : ATOS/BULL

- Solution BullSequana XH2000
 - Densité importante, Efficacité énergétique
 - Stabilité (3^{ème} génération de refroidissement DLC)
- AMD Epyc Rome
 - Evoluer dans un monde x86 tout en bénéficiant d'une densité bien plus importante
- InfiniBand Mellanox HDR100
- Système de fichiers Lustre sur une base NetApp



Comparatif général : généralités

Item	Beaufix	Belenos
Puissance crête	2,585 Pflops	
Puissance Linpack	2,157 Pflops	
Type de processeur	Intel Xeon E5-2698v4 (Broadwell)	AMD Epyc 7742 (Rome)
Finesse de gravure du processeur	14 nanos	7 nanos
Ratio applicatif (Arome / Arpege)	1	> 5 (légèrement)
Conso électrique Linpack	862 kW	1,8 MW
Conso électrique soutenue	635 kW	
Température eau rack/DLC	35°C / 40 °C	40 °C / 48 °C
Ratio refroidissement eau/air	70 / 30	90 / 10

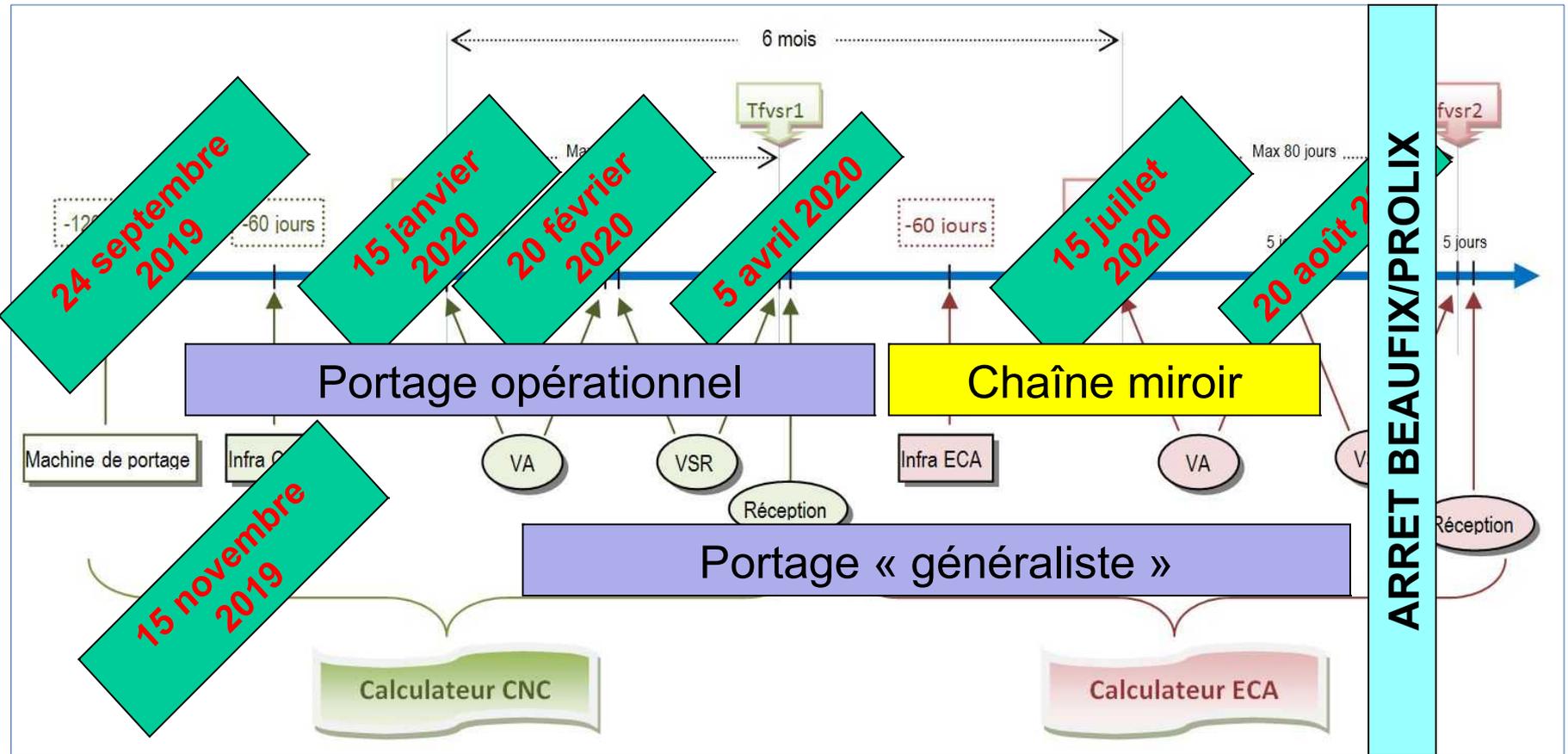
Comparatif général : nœuds de calcul

Item	Beaufix	Belenos
Nombre de nœuds / coeurs par NCS	1800 nœuds x 40 coeurs à 2.2 Ghz	
Mémoire par nœud de calcul NCS	64 Go	128 Go
Mémoire par coeur sur NCS	1,6 Go/coeur	1 Go/coeur
Bande passante mémoire	6 canaux DDR4 à 2400 Mhz	8 canaux DDR4 à 3200 Mhz
Nombre de nœuds mémoire importante	36 nœuds (40 coeurs)	
Mémoire par nœuds NCMI	256 Go	512 Go
Nombre total de coeurs	73 440	
Interconnect (Infiniband)	FDR 56 Gbit/s Topologie Fat tree non bloquante	

Plan de la présentation

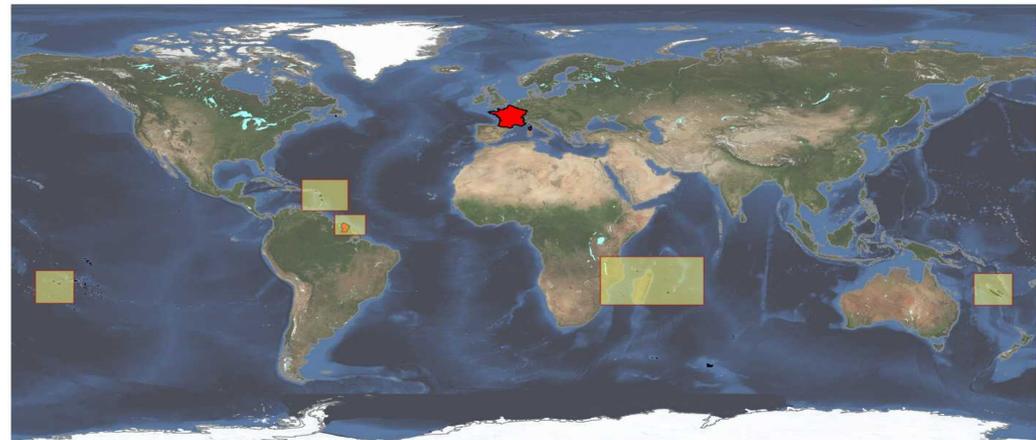
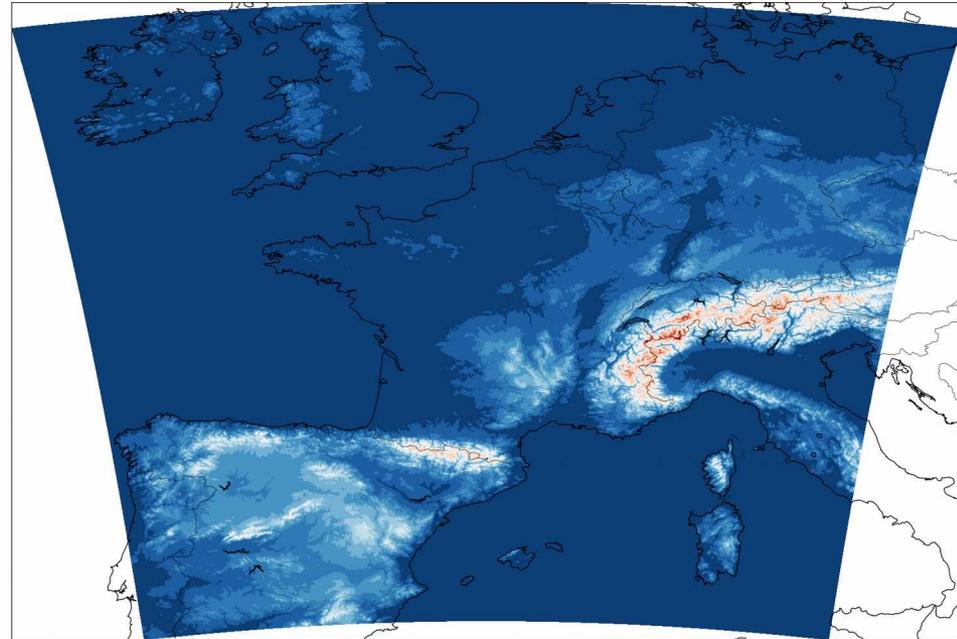
1. Le calcul intensif à Météo-France aujourd'hui
2. Quels besoins en calcul intensif pour les années à venir ?
3. La production « temps réel » sur HPC
4. La nouvelle solution de calcul intensif de Météo-France
5. **En route pour le futur**

Visualisation du calendrier

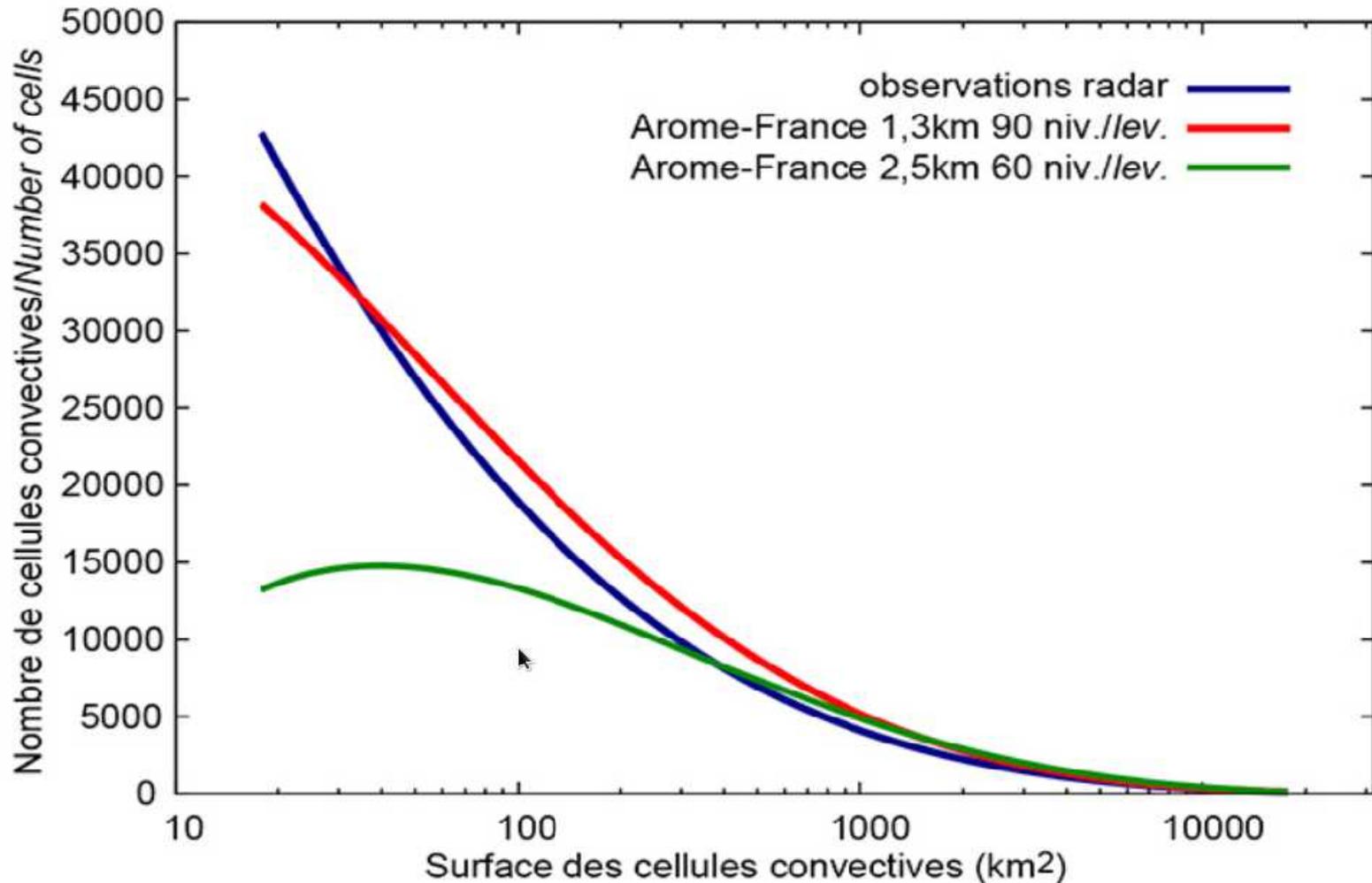


Systeme de prevision « regionaux »

Systems	Characteristics
AROME-France <i>Deterministic</i>	1.3km (1536 x 1440 pts) L90: from 5m to 10hPa 3DVar (1h cycle) 5 forecasts per day up to 48h
AROME-France Nowcasting	1.3km (1536 x 1440 pts) L90: from 5m to 10hPa 3DVar (no cycling – 10' cut-off) 24 forecasts per day up to 6h
AROME-IFS	2.5km L90– Dynamical adaptation of IFS (altitude) and Arome-Fr (surface) 2 forecasts per day up to 48h
AROME-EP (PEARO)	2.5km L90 16 members Four times per day up to 51h Initial and boundary conditions from PEARP
AROME-EDA (AEARO)	3.25km L90 25 members 3DVar (3h cycle)
AROME Overseas (5 domains)	2.5km L90 – Dynamical adaptation of IFS (altitude) and Arpege (surface) 4 forecasts per day up to 48h

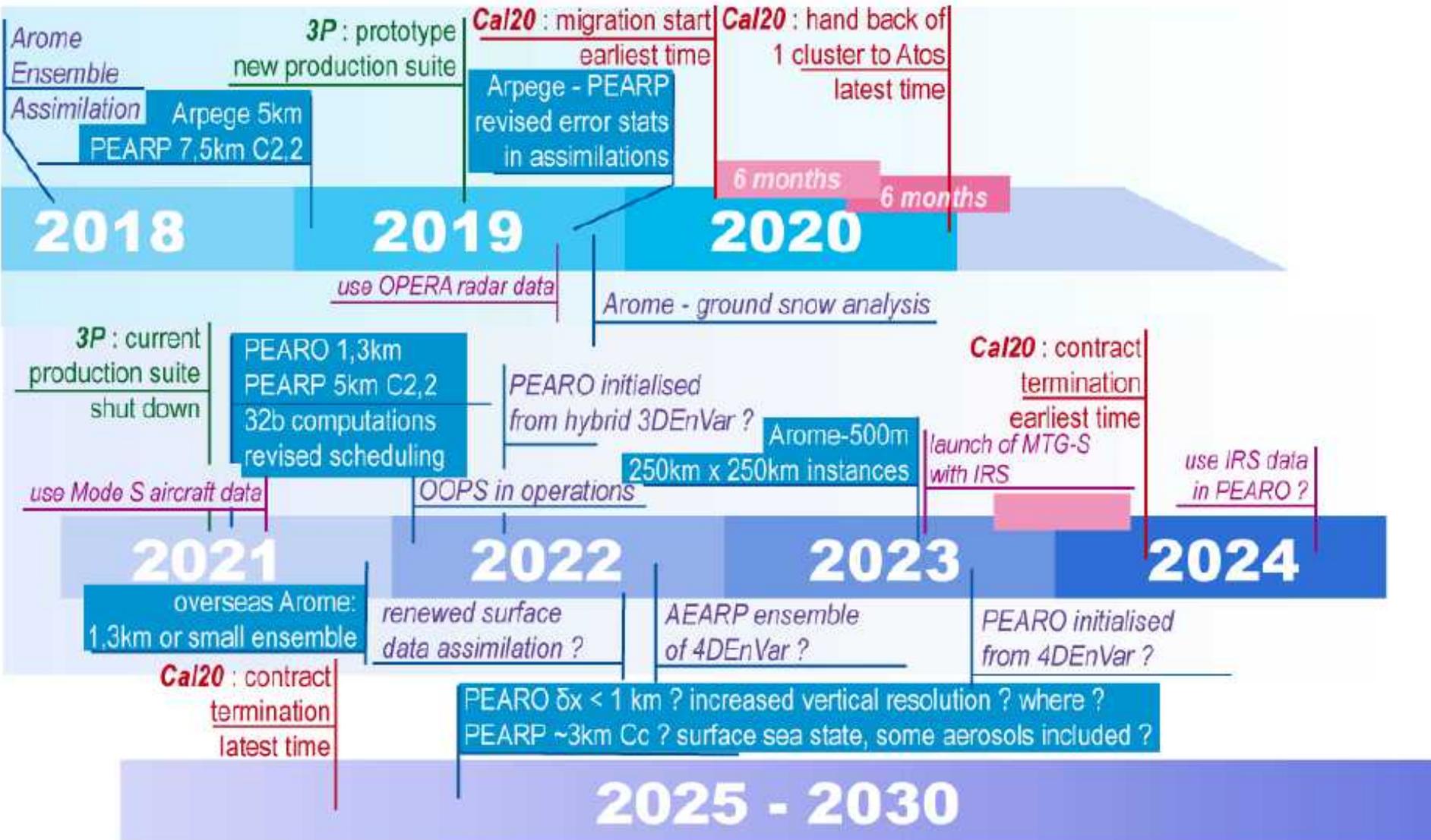


L'apport de la haute résolution

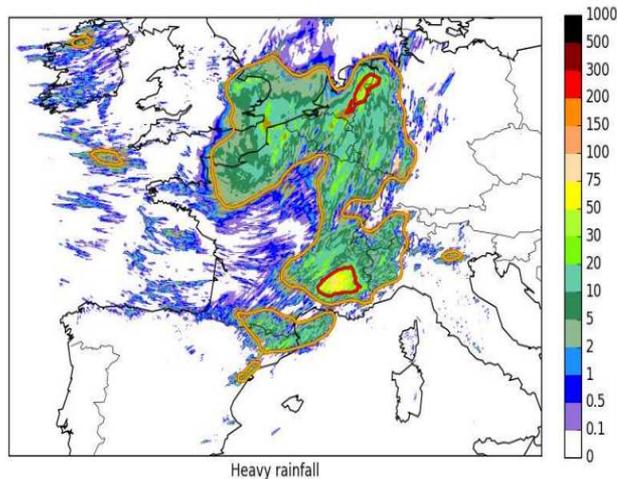


Distributions du nombre de cellules convectives observées par radar (bleu) et prévues par Arome 2,5 km (vert) et 1,3km (rouge) en fonction de leur superficie pour la journée du 21 juin 2012

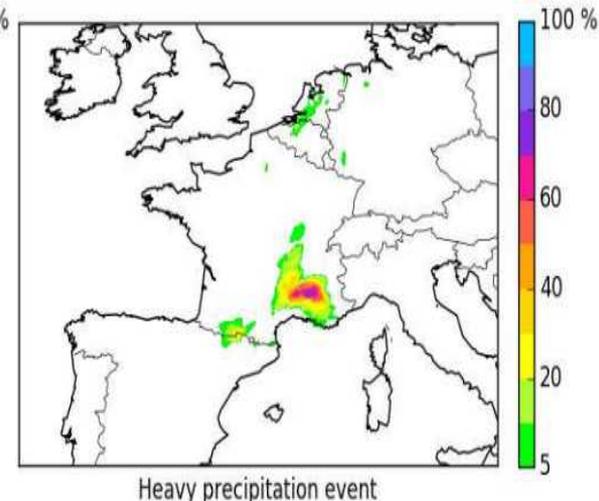
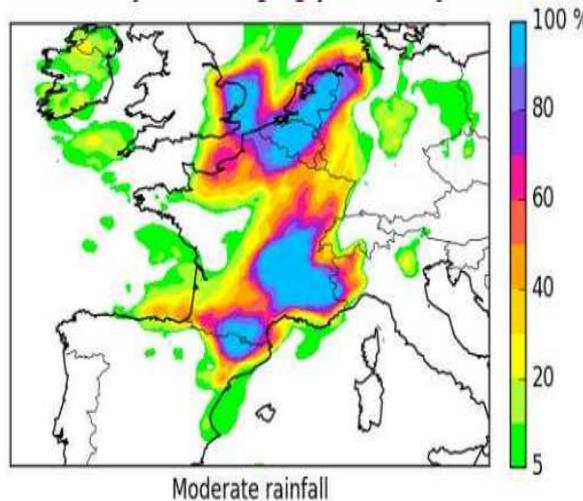
Evolution des systèmes de PNT : roadmap cible



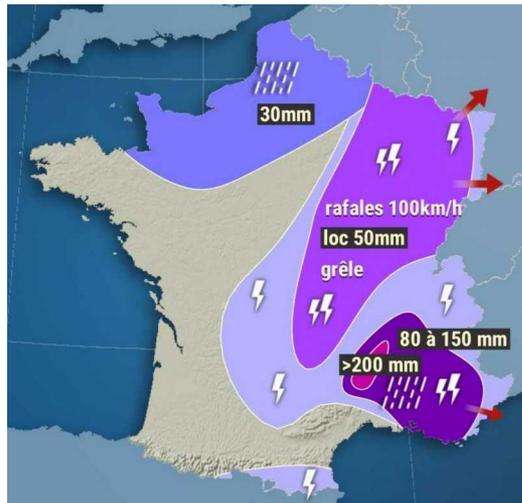
L'arrivée de technologies de Deep learning : diagnostics automatiques de pluies intenses par DL



Modèle Arome déterministe



Probabilités de pluie modérée et intense issues du diagnostic appliqué à la prévision d'ensemble Arome



Exemple de carte dérivable du diagnostic automatique



Coût de calcul prohibitif sans GPU

L'arrivée de technologies de Deep learning : détection automatique d'apparition de cyclone par DL

Méthode de détection automatique de l'œil du cyclone, ainsi que de la zone de vents cycloniques – Antilles : 7 septembre 2017 (Irma à gauche, José à droite)



Méthode DL utilisée : réseau convolutionnel U-net



Merci de votre attention
