



GT1

« Référentiel climatique / Effets du climat sur le système électrique »

Réunion n°3 : modélisation et évolution de la production hydraulique

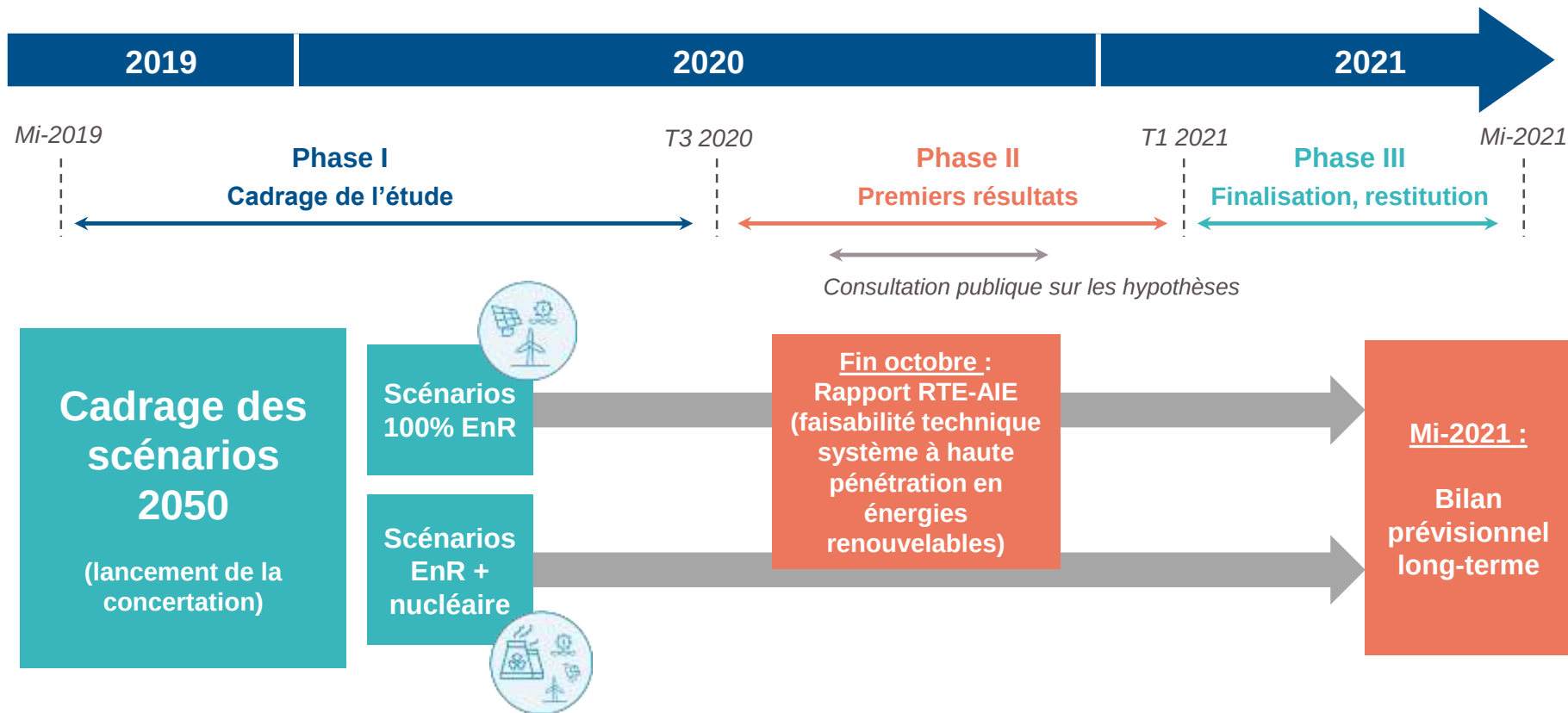
1^{er} octobre 2020



1

Rappel du cadrage et des précédentes réunions du groupe de travail

Rappel du calendrier de concertation sur les scénarios 2050



Rappel des éléments de cadrage sur les scénarios 2050

- Cadrage général des prochains scénarios de long terme :
 - ① articulé autour de l'objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050 et des trajectoires de la SNBC
 - ② avec des trajectoires (pas uniquement le point d'arrivée)
 - ③ en intégrant les conséquences du changement climatique
 - ④ avec une modélisation complète du système à l'échelle européenne, et avec une représentation des couplages entre l'électricité et les autres vecteurs (gaz, chaleur...)
- Une description des scénarios selon 4 axes principaux :
 -  Description technique du système
 -  Description des enjeux environnementaux
 -  Description économique
 -  Description des enjeux sociétaux (implication sur les modes de vie)

Rappel du dispositif de concertation renforcé

Lancement d'une large concertation sur la scénarisation et les hypothèses des scénarios

pour cibler les points d'intérêt du débat public, renforcer la pertinence et la légitimité des scénarios, et accroître la transparence sur les hypothèses

La CPSR

Instance de cadrage stratégique des travaux et d'arbitrage des orientations

Des groupes de travail

Instances de partage des hypothèses et résultats au niveau technique

Une consultation publique

Appel à contribution qui viendra enrichir les échanges initiés en groupes de travail



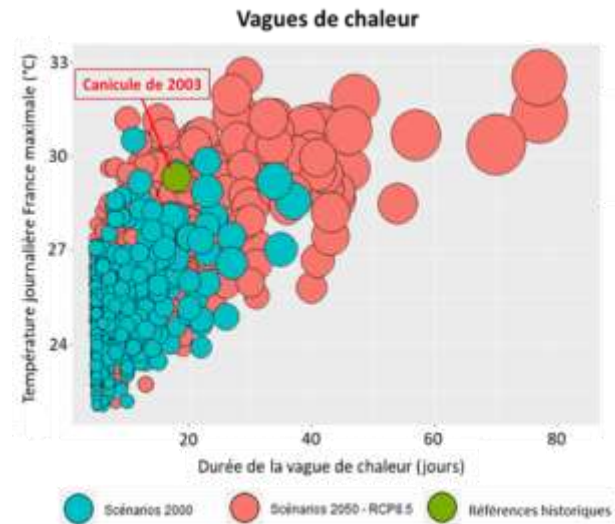
Exemples :

- **GT1 « référentiel climatique »**
- GT2 « consommation »
- GT3 « cadrage et scénarisation »
- GT4 « interfaces électricité et autres vecteurs »
- GT5 « dynamiques sociétales »
- GT6 « environnement »
- GT7 « flexibilités »
- GT8 « fonctionnement du système électrique »
- GT9 « coûts »

3^e réunion aujourd'hui

Rappel sur le contexte et les objectifs du GT1 sur le climat

- **Les situations extrêmes jouent un rôle clé dans le dimensionnement du système électrique :** les études de dimensionnement du système électrique doivent pouvoir intégrer la palette des conditions climatiques et leur fréquence, y compris des événements rares (vagues de froid, vagues de chaleur, sécheresses, situations de vent très faible, indisponibilités simultanées de nombreux moyens de production...)
- **Les évolutions du système électrique ont tendance à accroître sa dépendance aux conditions météorologiques :** essor des EnR et des interconnexions (conduisant à accroître les effets du foisonnement et des interdépendances européennes)
- **À horizon 2050, les effets du changement climatique auront une influence notable sur certains paramètres du mix électrique** qu'il convient de prendre en compte : vague de froid, canicule, productible hydraulique et éolien...



Les questions spécifiques sur l'hydraulique

- Deux questions principales :

① Quels sont les **effets attendus du changement climatique sur le productible hydraulique français** et européen à long terme, en particulier à l'horizon 2050 ?



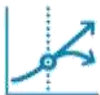
Objet de la réunion
de ce jour

② **Quelle est la place et le rôle de l'hydraulique dans le système électrique à long terme en matière de flexibilité,** dans un contexte marqué par une croissance forte des énergies renouvelables ?



Abordé à l'issue des
simulations dans le
cadre du GT7 Flexibilité

Les points soulevés lors des premières réunions du groupe de travail sur le climat



Compatibilité des trajectoires climatiques retenues pour l'analyse avec les ambitions de l'**accord de Paris**



L'analyse pourra être menée sur des climats « moins réchauffés » (scénarios 2025) et s'attachera à évaluer les effets liés spécifiquement à la trajectoire de changement climatique



Évaluation et prise en compte des **incertitudes inter-modèles**



Réalisation d'une **analyse approfondie** d'autres référentiels climatiques, en collaboration avec l'IPSL



Traitement des **événements très extrêmes** (vagues de froid et de chaleur s'écartant des autres événements extrêmes)



Des analyses spécifiques seront menées sur les événements « très extrêmes » afin d'isoler l'impact de la prise en compte de ces événements sur le dimensionnement et le fonctionnement du mix



Demandes complémentaires sur la **corrélation des périodes de vent faible au niveau européen**



Des indicateurs seront présentés sur ces périodes spécifiques, en lien avec l'analyse sur les stress-tests

La première réunion a présenté les simulations développées avec Météo-France



Projections climatiques

Une trajectoire d'évolution des variables climatiques pour une trajectoire de forçage radiatif donnée

→ Simulations à climat évolutif

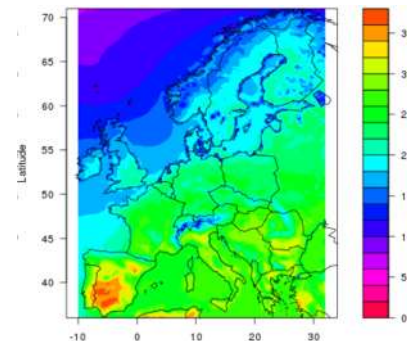


Simulations à climat constant

Simulation d'un grand nombre de situations météorologiques possibles sous un même « climat »

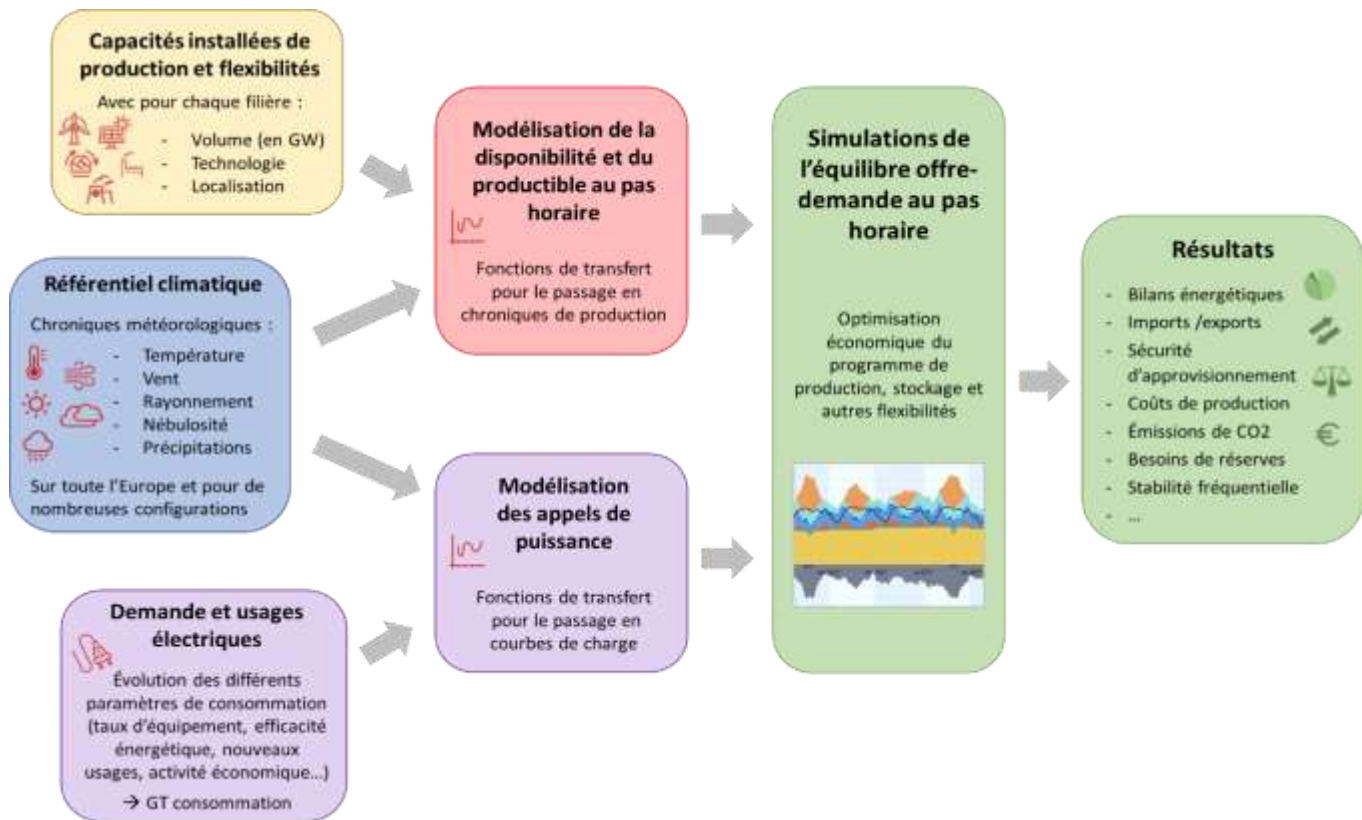


Les données des simulations sont disponibles sur plus de 37 000 points couvrant l'Europe



- Les simulations à climat constant permettent de représenter la grande variabilité interne du climat pour les études du Bilan prévisionnel

La deuxième réunion de travail a présenté l'approche utilisée pour la modélisation de la production éolienne et solaire



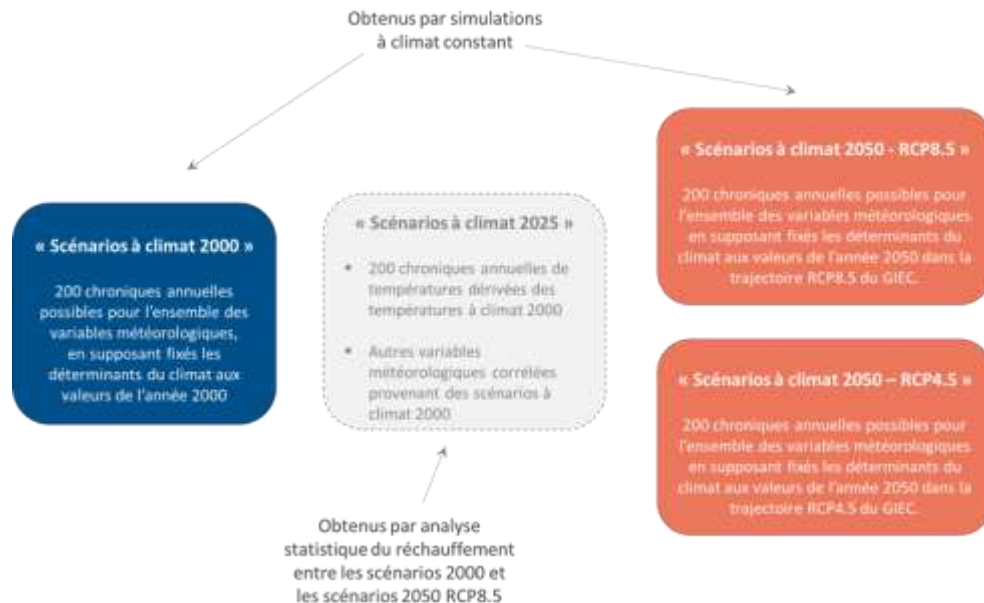


2

Les principes de modélisation de la production hydro-électrique

Référentiel climatique : construit avec Météo France (voir GTs précédent), il comprend une large variétés de climats possibles

- Le référentiel climatique, développé sur la base d'une modélisation physique par Météo France, comprend des scénarios à « climat » 2000, 2025 et 2050, avec deux hypothèses d'évolution du climat pour ce dernier horizon.
- Les simulations contiennent 200 chroniques annuelles, permettant de représenter une large palette de situations météorologiques, ainsi que leur fréquence.
- Les données sont au pas horaire, avec une bonne représentation des corrélations géographiques et des corrélations entre variables.
- Le grand nombre de chroniques permet de prendre en compte des événements extrêmes, y compris certains sans équivalent dans le passé.



La modélisation des débits à partir des simulations climatiques (Météo-France)

Météorologie

- SAFRAN : analyse des paramètres météorologiques



- ISBA : flux d'eau et d'énergie à la surface du sol (évaporation, neige ruissellement, infiltration, ...)

- MODCOU : modèle hydrogéologique

La Chaîne SIM



Météorologie

Scenarios 2000



- ISBA : flux d'eau et d'énergie à la surface du sol (évaporation, neige ruissellement, infiltration, ...)

- MODCOU : modèle hydrogéologique

La Chaîne SIM



Débits ré-analysés

Corrections de biais

Débits simulés climat 2000

La modélisation des débits à partir des simulations climatiques (Météo-France)

Météorologie

- **SAFRAN** : analyse des paramètres météorologiques
- **ISBA** : flux d'eau et d'énergie à la surface du sol (évaporation, neige ruissellement, infiltration, ...)
- **MODCOU** : modèle hydrogéologique



La Chaîne SIM

Météorologie

Scenarios 2050 RCP4.5

Scenarios 2050 RCP8.5

- **ISBA** : flux d'eau et d'énergie à la surface du sol (évaporation, neige ruissellement, infiltration, ...)
- **MODCOU** : modèle hydrogéologique



La Chaîne SIM

Corrections de biais

Débits 2050 RCP4.5

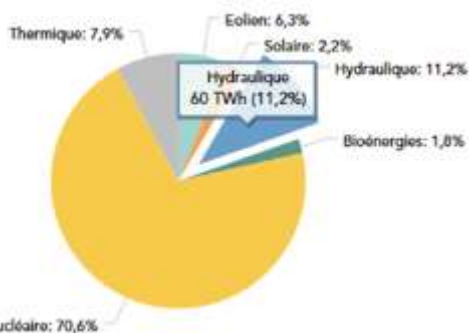
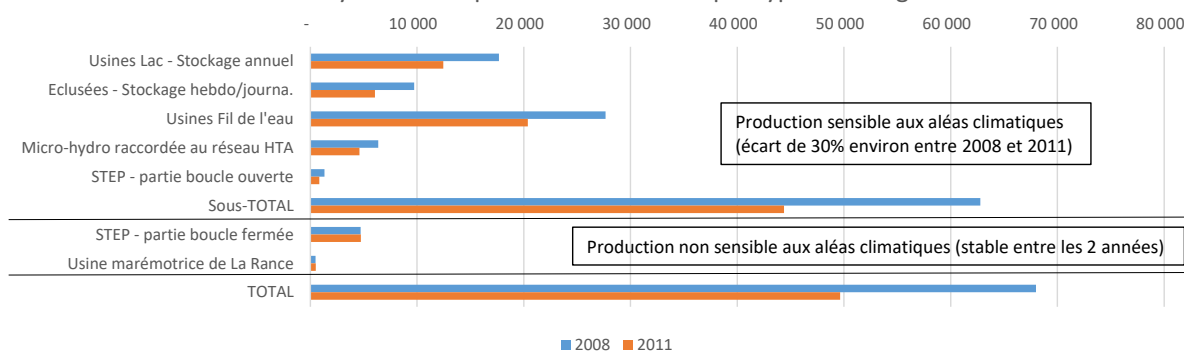
Débits 2050 RCP8.5

La production hydroélectrique en France

- La production hydroélectrique française représente **11% de la production annuelle totale**. Elle est répartie sur tout le territoire français, et principalement dans le quart Sud-Est.
- Les installations hydrauliques peuvent être décrites selon **5 types principaux** :



Production hydro-électrique annuelle en GWh par type d'ouvrage



- **La simulation de l'équilibre offre-demande** repose sur une approche probabiliste, qui permet d'étudier différents scénarios de production et de consommation en intégrant différents aléas (conditions météo, contraintes techniques...), et ainsi simuler un grand nombre de futurs possibles.
- La modélisation utilisée par RTE distingue trois types de production hydraulique :



La production **fil de l'eau** est une production fatale : les apports sont directement turbinés.

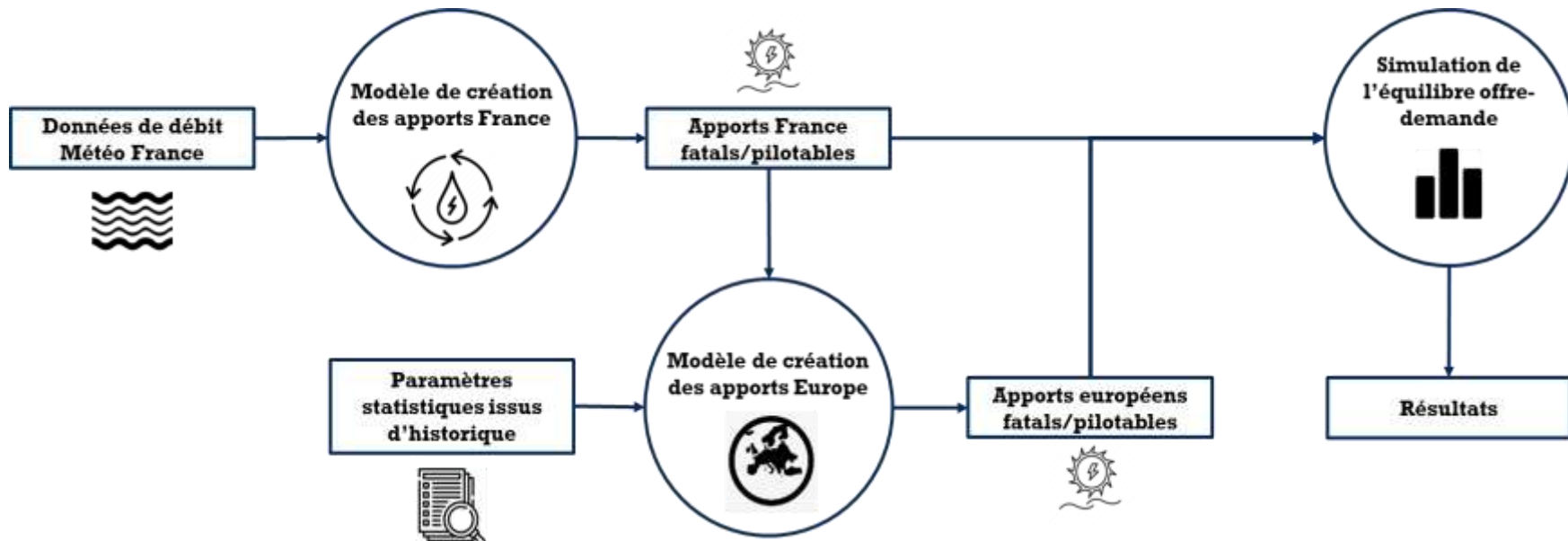


La production **réservoir** est une production pilotable alimentée par des **apports** (dans les limites des caractéristiques du réservoir).

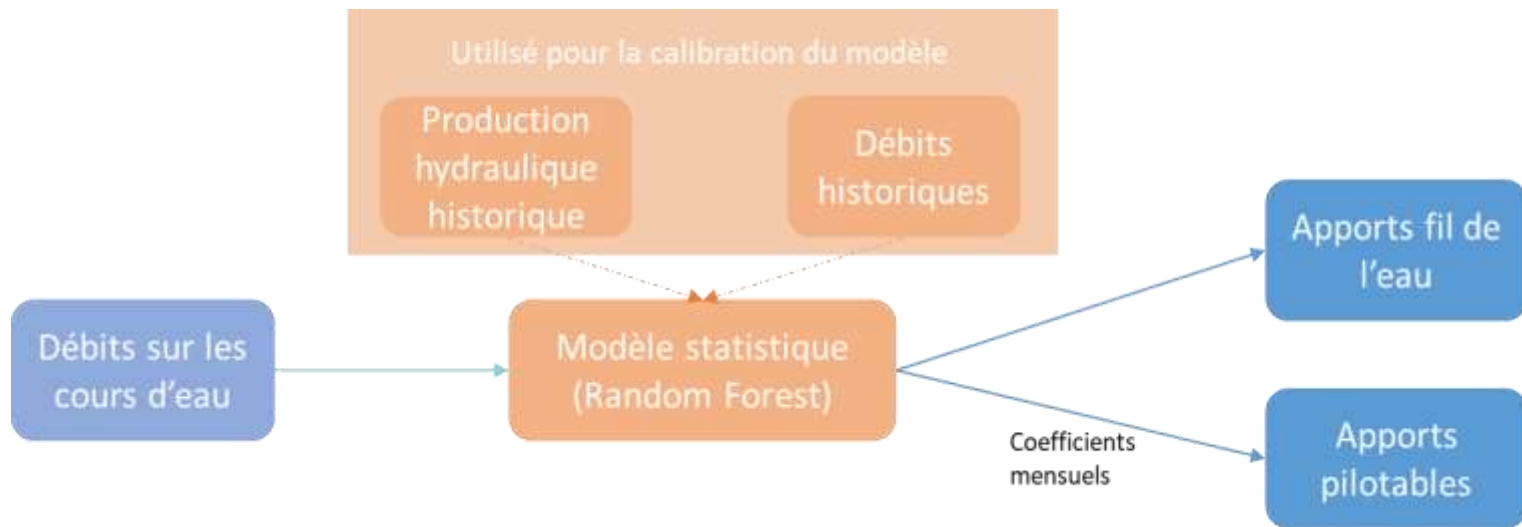


Les **stations de pompage** sont des réservoirs ayant la capacité de pomper de l'énergie hydraulique qui sera turbinée plus tard, si cela est intéressant pour minimiser les coûts du système.

Vue d'ensemble de la chaîne de modélisation du productible hydraulique

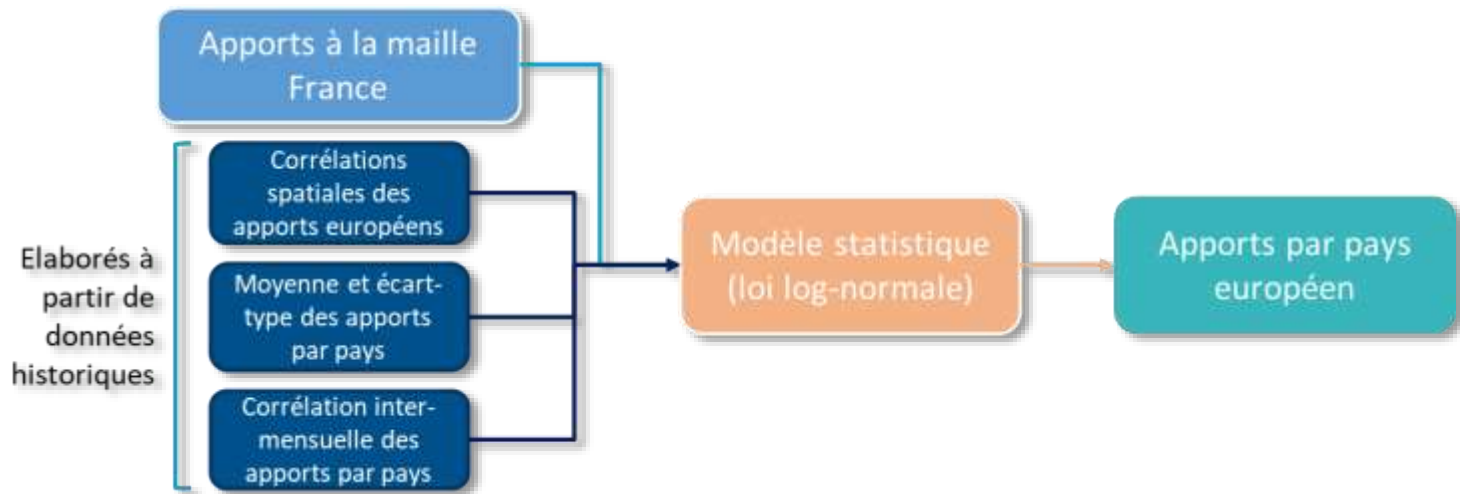


Détermination des apports France à partir de données de débit



- Les apports français sont déterminés **à l'échelle de chaque zone électrique française**, à partir des données de débit naturalisés Météo France, en appliquant un **modèle statistique** entraîné sur des années historiques.
- Cette méthode permet d'obtenir des **apports fil de l'eau à la maille horaire**, à partir desquels on peut déterminer des **apports pilotables définis à la maille mensuelle**.

Extrapolation des apports Europe à partir de données historiques



- Les apports français déterminés précédemment, ainsi que d'autres paramètres élaborés à partir d'observations historiques, sont fournis à un modèle statistique qui élabore des apports selon **une loi log-normale**.
- Les apports par pays sont ensuite séparés en fil de l'eau/réservoir selon des coefficients de répartition mensuels.

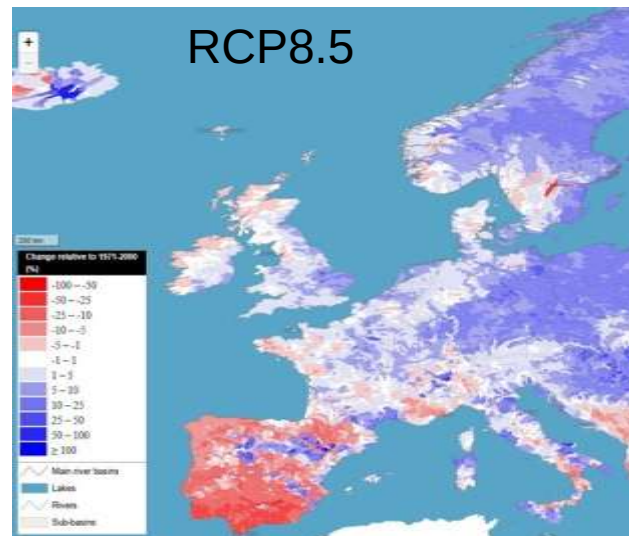
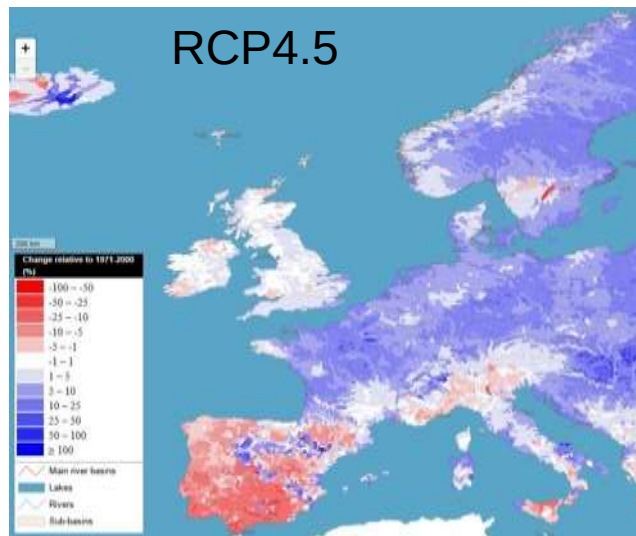


Questions / Réponses



L'évolution des débits européens à l'horizon 2050

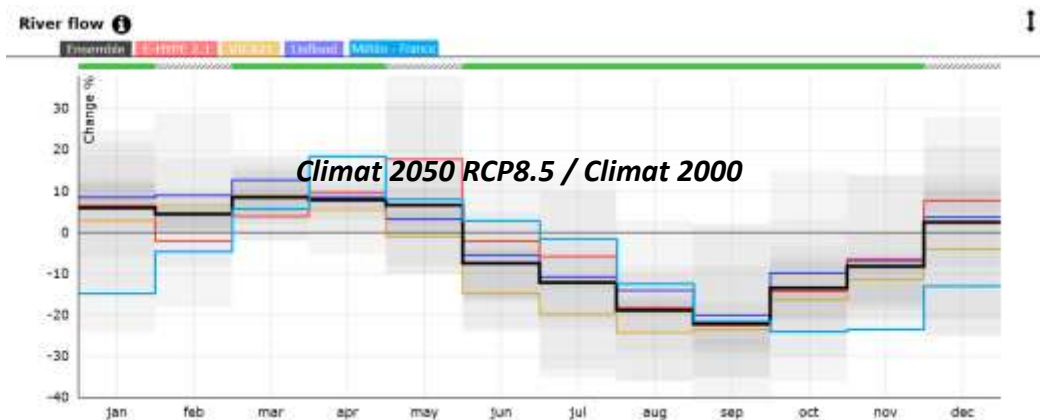
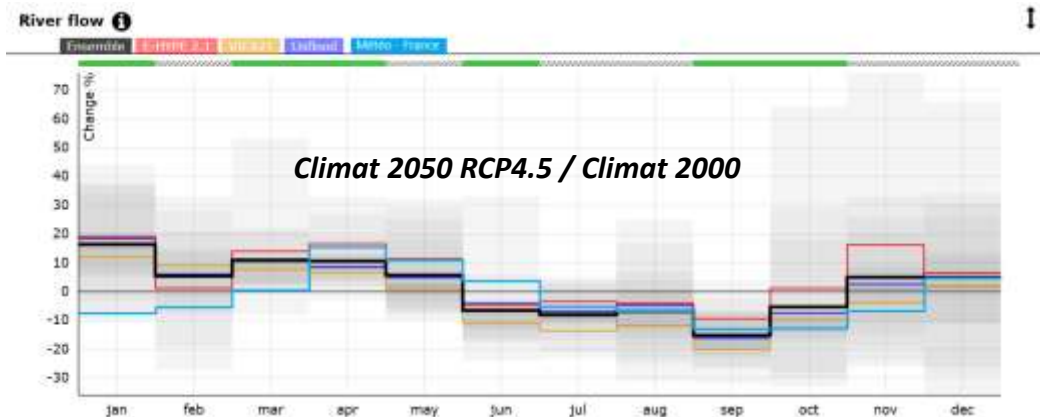
Evolution des débits à l'échelle européenne vue de Copernicus



Evolution des débits pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 pour 2036-2065 en Europe, relativement à une période de référence (1971-2000). Source: SWICCA / Copernicus Climate Change Service

- Pour le scénario RCP 4.5, les modèles climatiques voient **une hausse marquée des débits pour la partie Nord de l'Europe** et une stagnation voir **une baisse des débits autour de la méditerranée**, ainsi qu'une diminution très nette sur la Péninsule Ibérique .
- Pour le scénario RCP 8.5, **la hausse des débits est plus concentrée au Nord-Est de l'Europe, la France a plus de zones où les débits diminuent et la baisse des débits est encore plus forte sur Péninsule Ibérique.**

Comparaison des débits Météo-France avec d'autres modèles



*Variations des débits mensuels pour différents modèles,
en relatif par rapport à la période de référence, sur le Rhône à Valence*

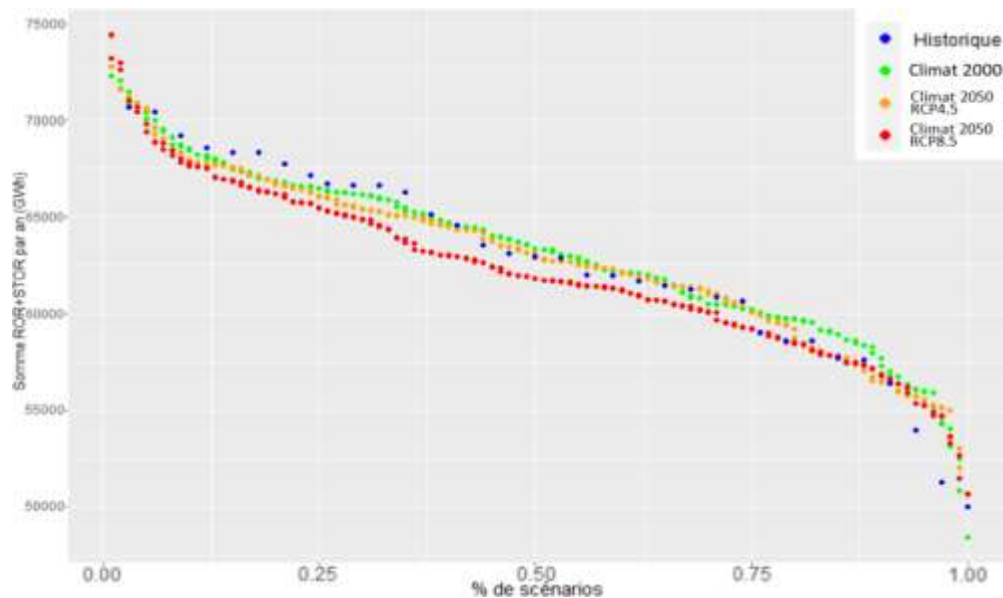
- Pour le scénario RCP 4.5, on note une **grande cohérence entre les modèles**, celui de Météo-France étant toutefois plus sec en janvier-février. **Une légère saisonnalité se dégage** avec une hausse des débits de 10 à 15% sur décembre-mai et une baisse de 5 à 10% sur juin-novembre.
- Pour le scénario RCP 8.5, on observe un peu **plus de variabilité entre les modèles**, avec une diminution des débits plus marquée pour le modèle de Météo-France sur octobre-février. Pour tous les modèles, **une plus forte saisonnalité se dégage** avec une hausse des débits de 5 à 10% sur décembre-mai et une plus forte baisse de 10 à 20% sur juin-novembre



4

L'évolution du productible hydraulique en France entre 2020 et 2050

Le productible annuel sous forme de monotone

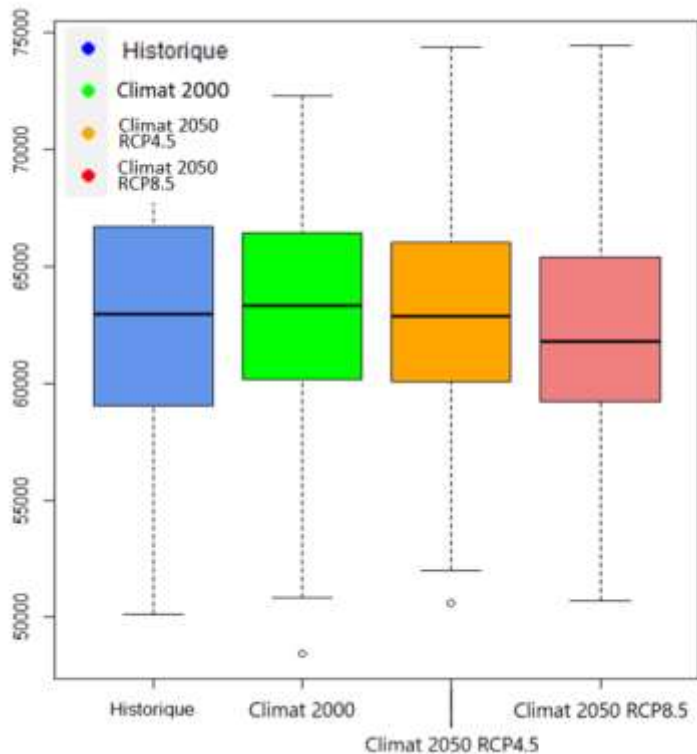


Monotones des apports annuels (GWh) selon différents référentiels

- Traduit en apports pour la production hydroélectrique, on retrouve **peu d'écart en valeur moyenne annuelle** entre le climat 2000 et le référentiel 2050 RCP 4.5 et une **légère baisse pour le référentiel 2050 RCP 8.5 (-1TWh)**.
- La dispersion des 200 années Monte-Carlo de Météo-France, traduites en apports, semble **stable entre les référentiels** : cela conduit à de **faibles variations entre les valeurs extrêmes des référentiels**.

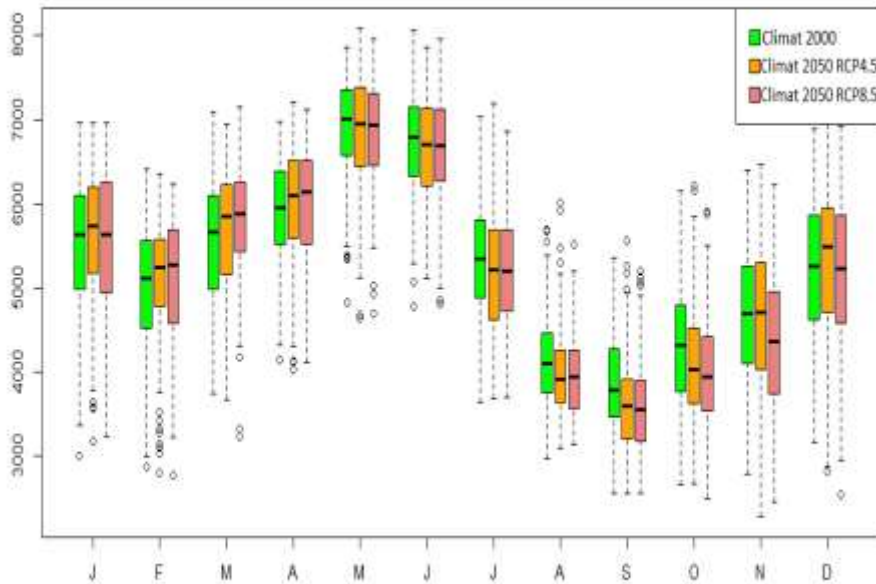
Référentiel	Apports moyens (GWh)	Apport minimum (Q5%) (GWh)	Apport maximum (Q95%) (GWh)	Ecart-type (GWh)
Climat 2000	63177	55982	70016	4379
Climat 2050 RCP4.5	62915	55533	69719	4406
Climat 2050 RCP8.5	62211	55269	68924	4355

Le productible annuel sous forme de « box plot »



- Une représentation équivalente des résultats sous forme de « box-plot » conduit aux mêmes observations :
 - Peu d'écart en moyenne pour le référentiel 2050 RCP 4.5
 - Une baisse en moyenne plus marquée (-1 TWh) pour le référentiel 2050 RCP 8.5
 - Une dispersion et des extrêmes stables, sauf peut être une augmentation des maxima avec 74 TWh atteint pour les 2 scénarios futurs (quantile 1%)
- Les historiques observés sur 30 années (1985-2015) sont cohérents avec les années climatiques de Météo-France simulées pour le climat 2000, hormis peut être une dispersion légèrement supérieure.

Le productible mensuel – évolution de la saisonnalité

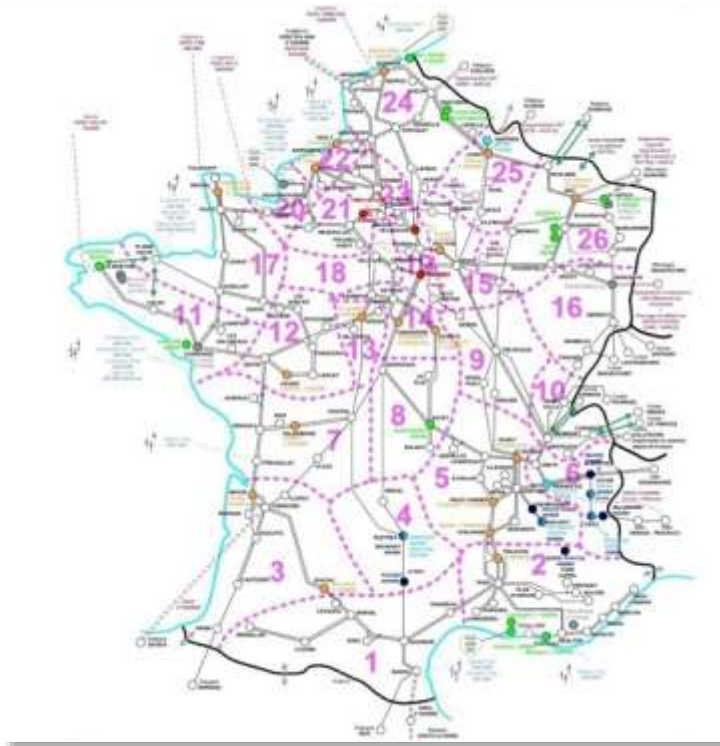
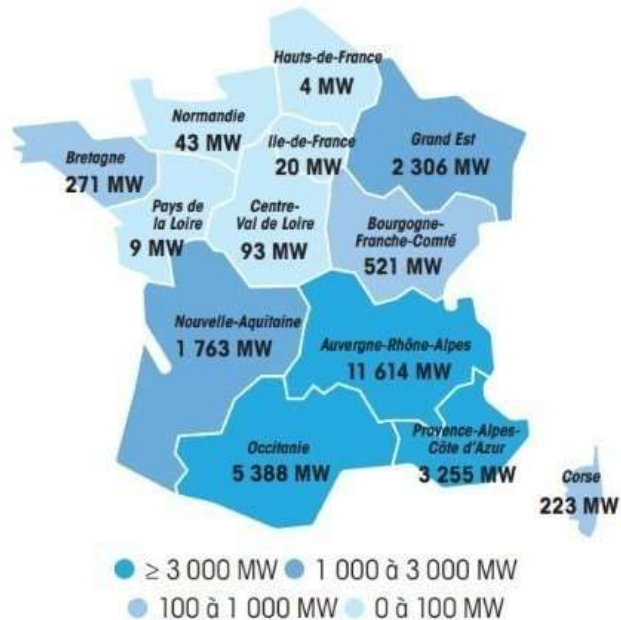


Comparaison mensuelle des apports France (GWh)

- **Augmentation des apports en début d'année** (janvier à avril). Les causes possibles, directement liées au réchauffement, peuvent être :
 - Une **augmentation des précipitations sous forme de pluie**, rapidement transformée en apport, au détriment des chutes de neige, avec la remontée en altitude de la limite pluie-neige ;
 - Une **fonte plus précoce de la neige** au début du printemps, en particulier à basse/moyenne altitude.
- **Nette baisse des apports à la fin de l'été et à l'automne** (juillet à novembre), davantage marquée pour le référentiel 2050 RCP8.5. Les causes probables en sont :
 - Des sécheresses plus intenses et / ou plus fréquentes, en parties dues à une **baisse des précipitations automnales** ;
 - Une **évaporation plus forte en période estivale**

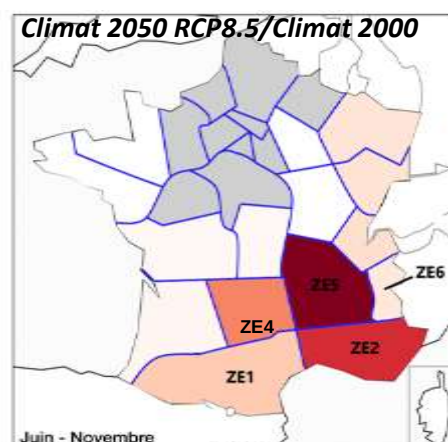
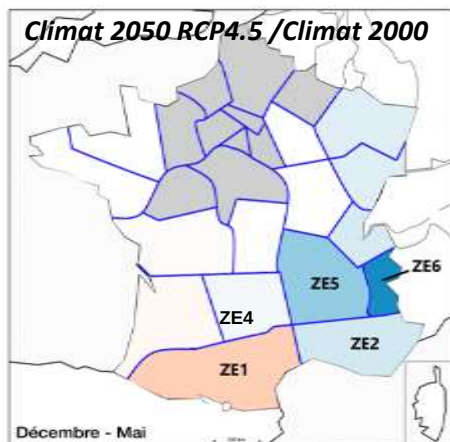
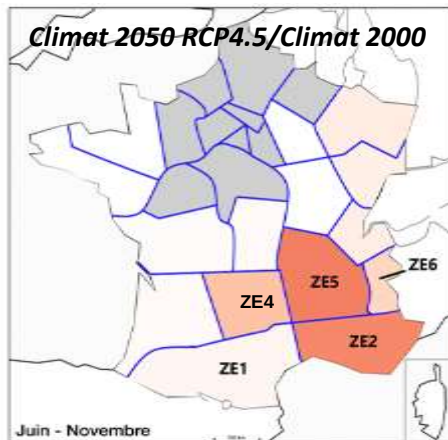
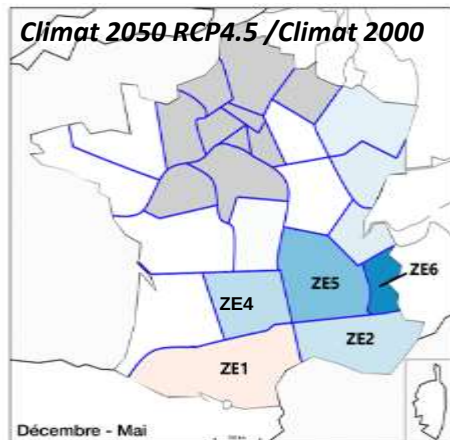
Capacité installée par région électrique et zonage du domaine

Puissance hydraulique raccordée par région au 31 décembre 2018

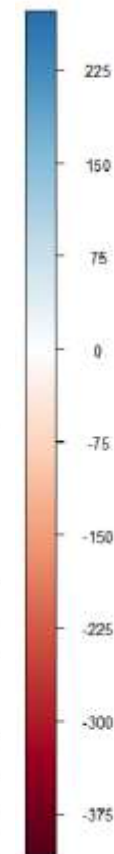


- **Forte concentration des ouvrages dans un grand quart sud-est** de la France avec près de 20 GW d'installé (80% du parc).
- **Zonage du domaine** correspondant à des sous-ensembles de réseau homogènes – besoins RTE.

Evolution du productible au niveau régional par saison

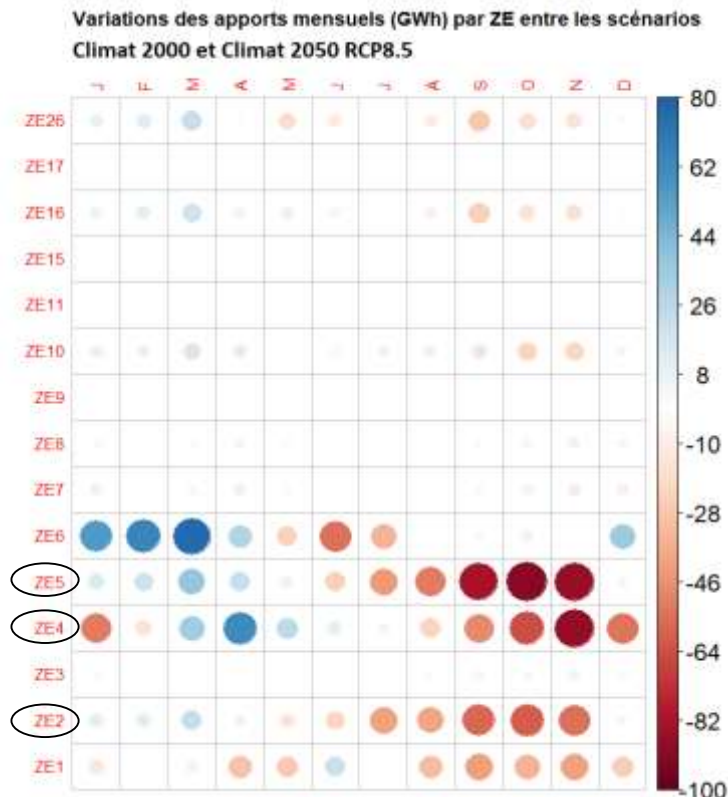


GWh



- Pour la saison plus humide (à gauche), les volumes d'apports évoluent de manière très similaire entre les 2 scénarios.
La ZE6 (Alpes centrales) est la plus impactée avec une hausse d'apports de l'ordre de 260 GWh
- Pour la saison plus sèche (à droite), il y a en revanche une amplification d'un facteur 2 des effets entre les 2 référentiels. Avec le référentiel 2050 RCP 8.5, pour les 2 zones les plus impactées, on a :
 - **En ZE5 (Est Massif-Central – Drome-Isère), une baisse de 380 GWh ;**
 - **En ZE2 (PACA), une baisse de 275 GWh**

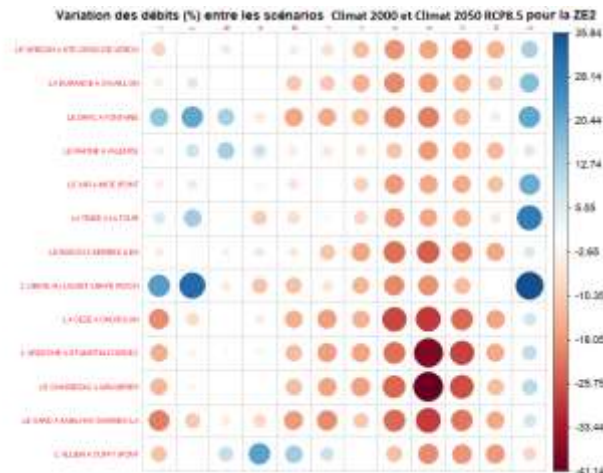
Evolution du productible au niveau régional par mois



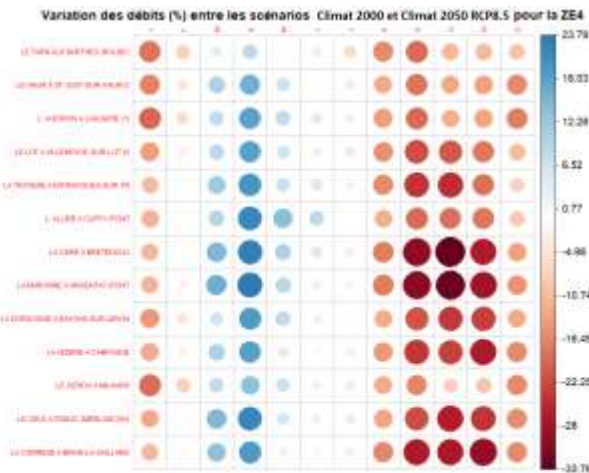
- L'analyse mensuelle des variations d'apports confirme les observations faite à la maille saisonnière :
 - La zone ZE6 présente les évolutions à la hausse les plus importantes avec un pic en Mars ;
 - La Zone ZE5 présente les évolutions à la baisse les plus importantes avec un pic en Octobre
- Toutefois, l'analyse mensuelle montre que pour la ZE4 (Sud-Ouest Massif Central) le cycle saisonnier est décalé par rapport à celui observé à l'échelle nationale :
 - On observe un décalage saisonnier de 2 mois (retard) sur cette zone ;
 - Sur une saison sèche allant d'Août à Janvier, on observe sur cette zone une baisse d'apport supérieur à celle de la ZE2 (baisse de 275 GWh)

Les disparités régionales sont expliquées par les débits

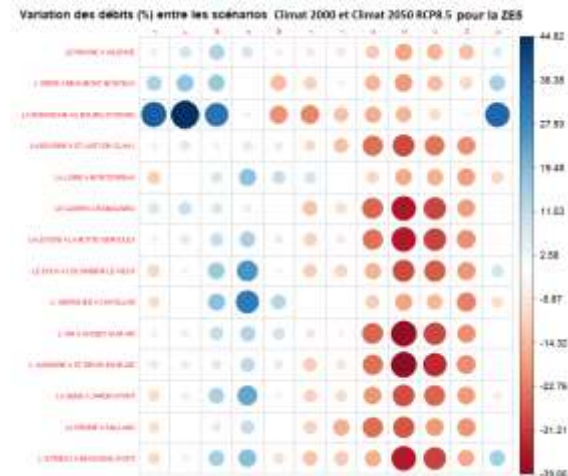
ZE2



ZE4



ZE5



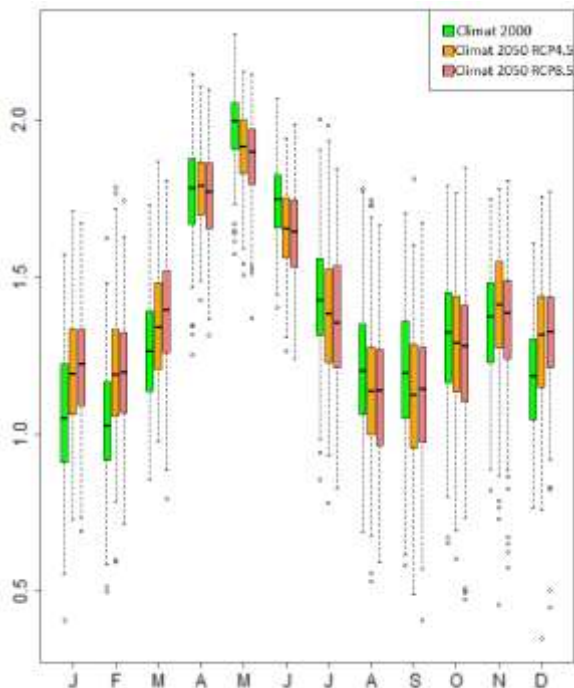
Les stations figurant dans ces graphes correspondent, zone par zone, aux stations sélectionnées par le modèle pour traduire ces débits en apports dans la zone.

Les variations de débits sont exprimées en% par rapport au référentiel 2000 et sont donnés ici pour le référentiel 2050 RCP 8.5.

- Certaines hétérogénéités sont observées entre les cours d'eau d'une même zone, en particulier en ZE2. Pour cette zone, l'Ardèche et le Chassezac pourraient subir les sécheresses les plus intenses en septembre
- La zone ZE4 en revanche est très homogène et confirme sur tous ses cours d'eau la singularité d'une sécheresse qui se prolonge jusqu'en janvier

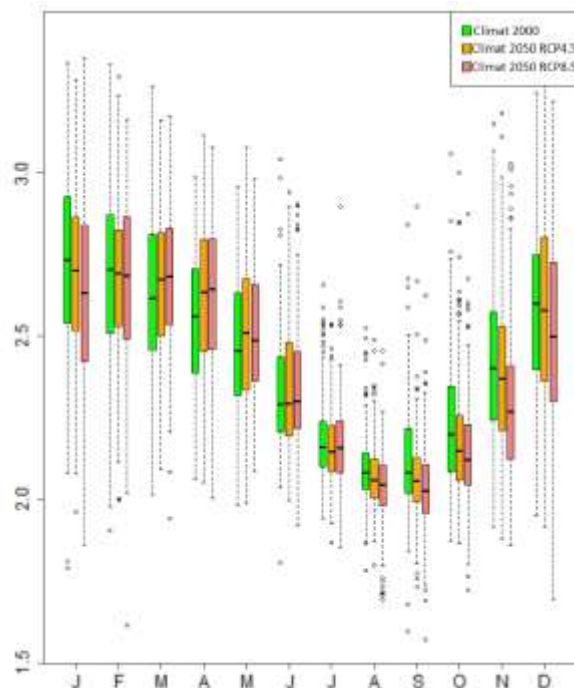
Analyse des débits mensuels sur la Romanche, pour chaque scénario climatique

La Romanche est un cours d'eau Alpin fortement influencé par la répartition pluie/neige avec peu d'apport l'hiver (effet de rétention de la neige stockée sur les massifs, mais qui diminue avec le réchauffement)

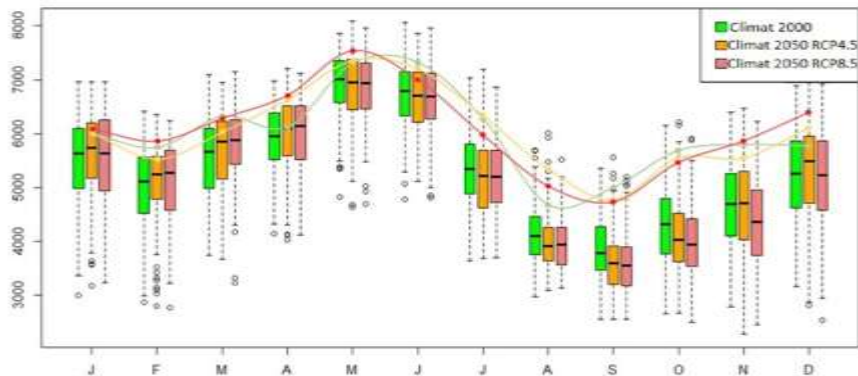


Analyse des débits mensuels sur la Dordogne, pour chaque scénario climatique

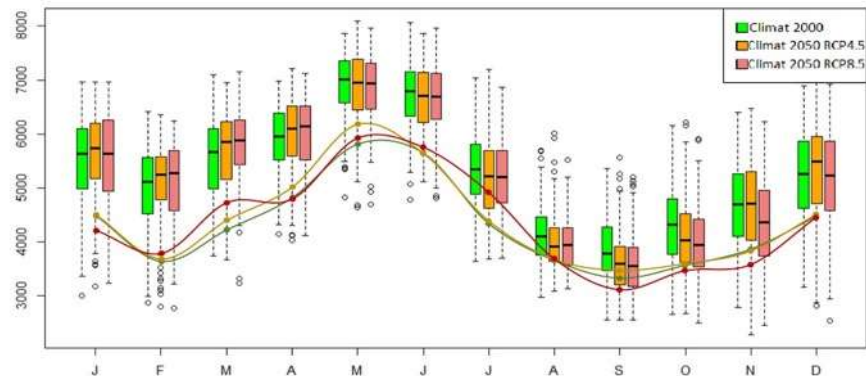
La Dordogne possède un débit qui est maximal en hiver, mais dont les variations à la baisse sont observées jusqu'en janvier (singularité ZE4)



Sélection des 5 années les plus humides générant le plus d'apports



Sélection des 5 années les plus sèches générant le moins d'apports



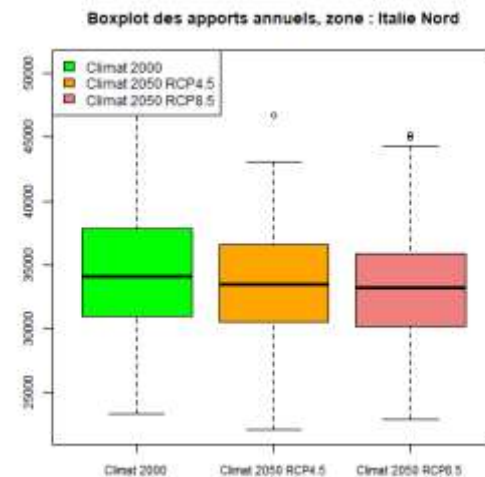
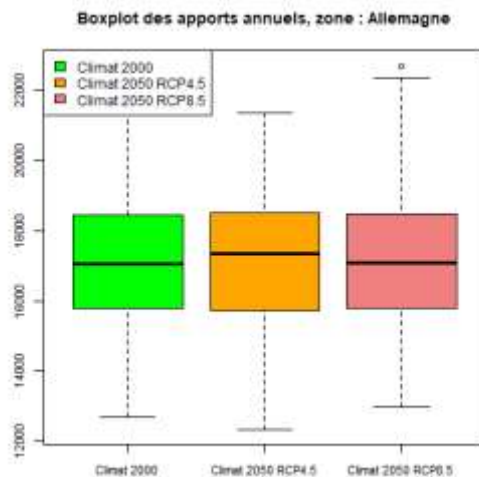
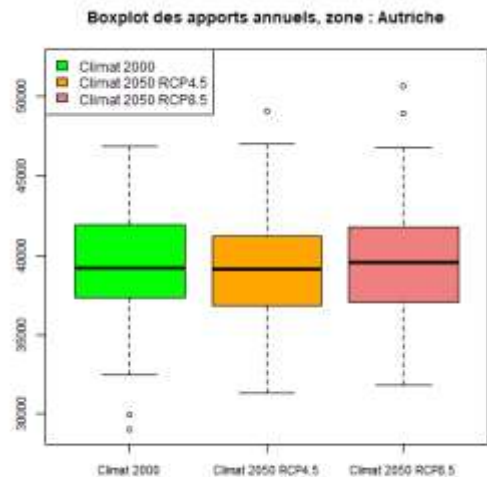
- Dans les 2 cas, aucune distorsion particulière n'est observée.
- Cohérent avec les observations faites sur les monotones et la grande stabilité dans la dispersion des résultats du modèle de Météo-France pour les différents scénarios analysés.
- A challenger via l'utilisation d'autres modèles de débit



3

L'évolution du productible hydraulique à l'échelle européenne entre 2020 et 2050

Rte Autriche, Allemagne et Italie du Nord – Productible annuel



- Les zones étudiées plus précisément sont celles dont les apports hydrauliques présentent historiquement une **corrélation significative avec les apports en France**.
- Sur ces trois zones, la dispersion est similaire pour les scénarios 2000 et 2050, avec une légère diminution des apports sur la zone Italie Nord.

Variation des apports mensuels (GWh)
entre les scénarios Climat 2000 et Climat 2050 RCP 4.5

7 1 5 4 5 7 7 4 0 0 2 0

Variation des apports mensuels (GWh)
entre les scénarios Climat 2000 et Climat 2050 RCP 8.5

7 1 5 4 5 7 7 4 0 0 7 0

- La région Italie Nord est celle pour laquelle on constate **les plus grandes variations entre le scénario 2000 et les scénarios 2050**. Les apports diminuent jusqu'à 7% sur certains mois entre les scénarios climat 2000 et climat 2050 RCP8.5.
- Sur les autres régions, les variations des apports constatées sont globalement peu significatives.



4

Synthèse et suite des travaux

- Le changement climatique semble avoir **un impact limité sur les apports français en total annuel**.
Cependant, **la saisonnalité des apports français évolue à l'horizon 2050**, en lien avec l'évolution des débits :
 - Ils sont plus importants entre décembre et mai
 - Ils sont nettement plus faibles entre juin et novembre
- **Les zones où la part d'hydraulique pilotable est la plus importante (quart Sud-Est) sont également les plus touchées** par le réchauffement climatique
- Au niveau européen, on constate peu de variations des apports à l'horizon 2050 sur les zones étudiées, malgré une baisse visible des apports annuels pour la région Italie Nord.
- Des **pistes d'amélioration** ont été identifiées et pourront être explorées dans de futurs travaux :
 - Approche multi-modèles pour la détermination des apports France
 - Utilisation de données climatiques pour déterminer les apports européens

Un travail de mise en commun des approches a déjà été entrepris via l'organisation d'un workshop sur la modélisation hydrologique en juillet 2020.

Suite des travaux et prochaines étapes

- **Prochaine réunion du groupe de travail qui aura lieu début 2021 et portera sur les effets du climat sur la disponibilité nucléaire**
- L'ensemble des supports (présentation et document de cadrage) seront mis à disposition sur le site de la concertation:
<https://www.concerte.fr/content/actualite-de-la-commission-perspectives-systeme-et-reseau>
- Les retours sur les éléments présentés sont les bienvenus
Points de contact : Olivier HOUVENAGEL, Laurent DUBUS
ou via l'adresse mail rte-concerte-bp@rte-france.com
- **Calendrier des prochaines réunions pour les autres GT**



Vendredi 16/10 matin (9h-12h) - GT7 Flexibilité (flexibilité de la demande)

Mercredi 04/11 matin (9h-11h) - GT5 Dynamiques sociétales

Mardi 17/11 matin (9h-11h) - GT4 Interfaces électricité et autres vecteurs

Vendredi 27/11 matin (9h-12h) - GT6 Environnement



concerte.fr
LE SITE DE CONCERTATION DES CLIENTS DE RTE